

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA TEXTILNÍ

KATEDRA ODĚVNICTVÍ



Diplomová práce

**Určení emisivity textilních materiálů pomocí infračervené
termografie**

**Determination of Emisivity of textile materials using infrared
thermography**

Bc. Zuzana Dostálová

Vedoucí diplomové práce: Ing. Renata Nemčoková

Liberec 2013

Technická univerzita v Liberci
Doc. Ing. Antonín Havelka, CSc.
Katedra oděvnictví, FT
Studentská 2
461 17 Liberec

ŽÁDOST

Žádám o prodloužení termínu odevzdání diplomové práce do prosince 2012.

Název diplomové práce: Určení emisivity textilních materiálů pomocí infračervené termografie.

Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Renata Nemčoková.

Jméno, příjmení a adresa žadatele: Bc. Zuzana Dostálová, Na Vršku 3896/4, 466 01 Jablonec nad Nisou.

Podpis žadatele: *Dostálová*

Datum podání žádosti: *25. 4. 2012*

Vyjádření vedoucího práce: *Sokolová* *[signature]*

Vyjádření vedoucího katedry:

[signature] Sokolová 25.4.2012

Anotace:

Diplomová práce se věnuje určení emisivity textilních materiálů pomocí infračervené termografie. Infračervená termografie měří povrchovou teplotu objektů bezkontaktním způsobem. Metoda analyzuje rozložení teplotního pole na povrchu zkoumaného tělesa. Parametry ovlivňující měření jsou emisivita, zdánlivá odražená teplota, vzdálenost od měřeného objektu, úhel snímání, vlnová délka, teplota okolí, teplota okolních předmětů, teplota měřeného objektu.

První část práce se věnuje zákonům termodynamiky, záření, popisuje bezkontaktní měření teploty. Experimentální část se věnuje metodě určení emisivity povrchu objektu a hledá metodu vyhodnocení teplotních polí termoprádla při zátěži při použití termovizní kamery.

Klíčová slova: Infračervená termografie, infračervená termografická kamera, emisivita, teplotní pole, teplota, termoprádlo, povrchová teplota, bezkontaktní měření.

Annotation:

The master's thesis deals with the determination of emissivity of textile materials with the infrared thermography. Infrared thermography measures surface temperature of objects contactless manner. The method analyzes the distribution of temperature field on the surface of the body. Parameters affecting the measurements are emissivity, apparent reflected temperature, the distance from the measured object, scanning angle, wavelength, the ambient temperature, the temperature of the surrounding objects, the temperature of the measured object. The first part of the work is devoted to the laws of thermodynamics, radiation, describes the non-contact measurement of the temperature. The experimental part deal with the method of determination of emissivity of the surface of the object and searches for a method of analyzing of temperature fields of thermo underwear when using infrared thermography camera.

Keywords: Infrared thermography, infrared thermography camera, emissivity, temperature fields, temperature, thermo underwear, surface temperature, non-concact (contactless) measurement.

P r o h l á š e n í

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum

Podpis

Poděkování

Ráda bych poděkovala vedoucí diplomové práce Ing. Renatě Nemčokové za cenné konzultace, za čas který mi věnovala a za vzorky materiálu které mi poskytla. Také děkuji firmě Jitex Comfort s.r.o. za vzorky materiálu a termo tričká, které mi poskytla. Mé děkuji patří také mé rodině, která stojí vždy při mně a pomáhá mi. Vím, že se na ni můžu vždy obrátit.

Počet stran: 174

Počet obrázku: 42

Počet tabulek: 14

Počet grafů: 18

Počet příloh: 11

OBSAH

SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ	4
ÚVOD.....	7
1 TERMODYNAMIKA	8
1.1 ZÁKLADNÍ POJMY TERMODYNAMIKY	9
1.2 TEPLOTA A ENERGIE.....	11
1.3 TEPLA A PRÁCE	13
1.3.1 ZDROJE TEPLA	13
1.3.2 TEPLA	14
1.3.3 PRÁCE.....	16
1.4 TERMODYNAMICKÉ ZÁKONY	16
1.4.1 NULTÝ ZÁKON TERMODYNAMIKY.....	16
1.4.2 PRVNÍ HLAVNÍ VĚTA	17
1.4.3 DRUHÁ HLAVNÍ VĚTA	19
1.4.4 TŘETÍ HLAVNÍ VĚTA	19
2 ZÁŘENÍ.....	20
2.1 ZÁKLADNÍ VELIČINY	21
2.2 VLNOVÁ A ELEKTROMAGNETICKÁ OPTIKA	25
2.3 ELEKTROMAGNETICKÉ ZÁŘENÍ	26
2.3.1 METODY DETEKCE A MĚŘENÍ NEVIDITELNÉHO ZÁŘENÍ.....	31
2.3.2 INFRAČERVENÉ (TEPELNÉ) ZÁŘENÍ	32
2.3.3 PŘIJÍMAČE INFRAČERVENÉHO ZÁŘENÍ.....	34
2.3.4 ZDROJE SVĚTELNÉHO ZÁŘENÍ.....	37
2.4 ZÁŘENÍ ČERNÉHO TĚLESA	40
2.5 NEČERNÉ ZÁŘIČE.....	44
2.5.1 EMISIVITA	46

3	BEZDOTYKOVÉ MĚŘENÍ TEPLoty	49
3.1	PYROMETR	50
3.2	FOTOGRAFICKÉ MĚŘENÍ TEPLoty	51
3.3	TERMOVIZNÍ SYSTÉMY	52
3.3.1	SENZOR TEPLoty	53
3.3.2	TEORIE PRAKTICKÉHO MĚŘENÍ	54
3.3.3	MĚŘENÍ POVRCHOVÉ TEPLoty TERMOVIZNÍ KAMEROU PODLE NORMY	55
3.3.4	VYUŽITÍ TERMOVIZNÍ KAMERY V PRAXI	59
4	STANOVENÍ EMISIVITY TEXTILNÍCH MATERIÁLŮ	65
4.1	STANOVENÍ EMISIVITY TEXTILNÍCH MATERIÁLŮ POMOCÍ METODY ZALOŽENÉ NA KOMBINACI DALŠÍCH METOD MĚŘENÍ POVRCHOVÉ TEPLoty	68
4.1.1	PŘÍPRAVA EXPERIMENTU	68
4.1.2	VLASTNÍ MĚŘENÍ	69
4.1.3	VYHODNOCENÍ EXPERIMENTU	72
4.2	STANOVENÍ EMISIVITY TEXTILNÍCH MATERIÁLŮ POMOCÍ METODY ZALOŽENÉ NA POUŽITÍ DODATEČNÉHO MATERIÁLU NEBO SPECIÁLNÍHO NÁTĚRU	72
4.2.1	PŘÍPRAVA EXPERIMENTU	72
4.2.2	VLASTNÍ MĚŘENÍ	73
4.2.3	VYHODNOCENÍ EXPERIMENTU	75
4.3	ZÁVISLOST EMISIVITY TEXTILNÍCH MATERIÁLŮ NA TEPLotĚ A VLHKOSTI DANÉHO MATERIÁLU	75
4.3.1	HODNOCENÍ MATERIÁLU M1 A M2 (BAVLNA/POLYPROPYLEN) 80	
4.3.2	HODNOCENÍ MATERIÁLU M3 A M4 (FUNKČNÍ POLYESTER)....	83
4.3.3	HODNOCENÍ MATERIÁLU M5 A M6 (POLYPROPYLEN)	86

4.3.4	HODNOCENÍ MATERIÁLU M7 (95%BAMBUS A 5% LYCRA).....	89
	Graf 13 zobrazuje závislost emisivity na změně teploty a Graf 14 zobrazuje závislost emisivity na relativní vlhkosti.....	90
4.3.5	HODNOCENÍ MATERIÁLU M8 (VLNA MERINO).....	91
4.3.6	HODNOCENÍ ZÁVISLOSTI EMISIVITY NA TEPLOTĚ A BARVĚ ...	93
4.3.7	HODNOCENÍ ZÁVISLOSTI EMISIVITY NA RELATIVNÍ VLHKOSTI A BARVĚ	96
5	VYHODNOCENÍ TEPLOTNÍCH POLÍ U TERMOPRÁDLA POMOCÍ TERMOVIZNÍ KAMERY.....	100
5.1	POSTUP MĚŘENÍ	102
5.2	VYHODNOCENÍ EXPERIMENTU	103
5.2.1	TEPLOTNÍ POLE V OBLASTI PŘEDNÍHO DÍLU, LOKTŮ A ZÁPĚSTÍ	104
5.2.2	TEPLOTNÍ POLE V OBLASTI LEVÉHO PODPAŽÍ.....	105
5.2.3	TEPLOTNÍ POLE V OBLASTI ZADNÍHO DÍLU	107
5.2.4	TEPLOTNÍ POLE V OBLASTI PRAVÉHO PODPAŽÍ.....	107
5.2.5	SOUHRNNÉ VYHODNOCENÍ EXPERIMENTU	108
6	ZÁVĚR	109
7	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	111
	SEZNAM OBRÁZKŮ	113
	SEZNAM TABULEK.....	115
	SEZNAM GRAFŮ	115
	SEZNAM PŘÍLOH.....	116

SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ

Obr.	obrázek
IČ, IR.....	infračervené záření
IrDA.....	komunikační infračervený port
GPS.....	global positioning system (vojenský globální družicový polohový systém)
CCD snímač.....	Charge-coupled device (elektronická součástka používaná pro snímání obrazové informace)
IČT.....	infračervená termografie
KOD.....	katedra oděvnictví
LCD.....	liquid crystal display (displej z tekutých krystalů)
Tab.	tabulka
t.....	teplota [$^{\circ}\text{C}$]
T.....	termodynamická teplota [K]
E_{kin}	kinetická energie [J]
E_{pot}	potenciální energie [J]
E_k	kinetická energie mikroskopického pohybu [J]
E_p	potenciální energie [J]
E.....	celková energie [J]
U.....	vnitřní energie plynu [J]
m.....	množství hmoty [$\text{kg s}^2/\text{m}$]
c.....	rychlost světla [m/s]
Q_j	teplo [J]
C_j	tepelná kapacita [J/K]
c_j	měrná tepelná kapacita [J/kgK]
l.....	délka [m]
V.....	objem [m^3]
α	součinitel délkové roztažnosti [K^{-1}]
β	součinitel objemové roztažnosti [K]
F.....	práce síly [N]
p.....	tlak [Pa]
S.....	plocha [m^2]

x	dráha [m]
A	mechanická energie [J]
W	práce [J]
E^{makro}	makroskopická energie [J]
W_e, Q	zářivá energie [J; Ws]
W	světelná energie [J]
Φ	zářivý tok, světelný tok [J/s; W]
ω	prostorový uhel [sr]
Φ_λ	spektrální hustota zářivého toku [J/s]
λ	vlnová délka [m]
t	čas [s]
I	svítivost [cd]
I_e	zářivost [W/sr]
M_ε	intenzita vyzařování [W/m ²]
M_λ, H_λ	hustota intenzity vyzařování [W/m ³]
ρ	odrazivost [1]
ρ_λ	spektrální odrazivost [1]
τ	propustnost [1]
τ_λ	spektrální propustnost [1]
α, λ	pohltivost [1]
α_λ	spektrální pohltivost [1]
c	rychlost světla [m/s]
n	index lomu prostředí [1]
ν	frekvence vlny [s ⁻¹ , Hz]
E	intenzita elektrického pole
H	Intenzita magnetického pole
E_ν	energie fotonu [J]
r	poměrná odrazivost látky [1]
h	Planckova konstanta [J/s]

I_r	.....intenzita odražené části záření [W/m ²]
I_o	.....intenzita dopadajícího záření [W/m ²]
σ	.....Stefanova –Boltzmanova konstanta [K/ m ² K ⁴]
$M_{\lambda b}$	.....spektrální hustota intenzity vyzařování černého tělesa při vlnové délce λ [Watt/m ² μm]
$H_{0\lambda}$	.....spektrální hustota intenzity vyzařování [Watt/m ³]
k	.....Boltzmanova konstanta [J/K]
b	.....Wienova konstanta [m/K]
W_b	.....výsledný vyzařovaný výkon černého tělesa [Watt/m ²]
α_v	.....spektrální pohltivost [1]
ε_v	.....spektrální emisivita [1]
ε_λ	.....emisivita, respektive pohltivost pro vlnovou délku [1]
ε	.....emisivita [1]
$V(T)$	.....výstup teploměru závislý na teplotě
N	.....faktor N
W	.....přijatý výkon záření [W]
U	.....napětí [V]
RH	.....relativní vlhkost [%]
T	.....teplota [°C]
$\overline{E_{MT}}$	.....průměrná emisivita při změně teploty [1]
$\overline{E_{MRH}}$	.....průměrná emisivita při změně relativní vlhkosti [1]

ÚVOD

Infračervená termografie je obor, který se zabývá měřením povrchové teploty objektu bezkontaktním způsobem. Tato metoda analyzuje rozložení teplotního pole na povrchu zkoumaného tělesa. Řídí se termodynamickými zákony, zákony vyzařování. Obor termografie se rozšířil zavedením termovizních (infrachervených) kamer do praxe. V dnešní době se termovizní kamery využívají v různých oborech. Například ve zdravotnictví (včasná diagnostika nádoru prsu, povrchový zánět žil, postižení kloubů, ...), stavebnictví (hledání úniku tepla z budov), průmyslu (zvýšení produktivity práce, bezpečnosti práce, snížení počtu poruch strojů, ...) energetice (sledování elektrického vedení a jeho poškození) a v mnoha dalších oborech. V textilním průmyslu se dá kamera využít při zkoumání teplotního pole žehlicích nebo podlepovacích strojů, při alternativním hodnocení fyziologického komfortu textilií, ve výzkumu. Před vlastním měřením se musí správně nastavit parametry termovizní kamery a musíme vzít v úvahu parametry, které ovlivňují výsledek měření. Jedním z parametrů je také správně zvolená emisivita materiálů. Dá se zjistit z tabulek, nebo se použije jedna z metod určování neznámé hodnoty emisivity, které jsou popsány v práci.

Tato diplomová práce se zabývá určováním neznámé hodnoty emisivity textilního materiálu s použitím termovizní kamery ThermaCamTM S60. Teoretická část se zabývá termodynamickými zákony, zářením, zákony vyzařování, bezdotykovým měřením teploty povrchů, použitím termovizních systémů v praxi. Experimentální část řeší tři problémy. Jednotlivé problémy na sebe navazují. První problém hledá metodu určování neznámé hodnoty emisivity textilních materiálů. Druhý problém zkoumá závislost emisivity na změně teploty a relativní vlhkosti. Poslední část experimentu se věnuje metodě vyhodnocení teplotních polí u oděvů. Získané snímky z jednotlivých měření byly vyhodnocovány v programu ThermaCamTM researcher. Data byla zpracována v programu MS Office.

Cílem práce bylo navrhnout vyhodnocení teplotních polí u oděvů při zátěži při měření pomocí termovize a určení neznámé hodnoty emisivity textilních materiálů.

1 TERMODYNAMIKA

Termodynamika je obor fyziky, který se zabývá zákony, jimiž se řídí přeměna tepelné energie v jiné druhy energie, především mechanickou energii. K jejímu vzniku došlo v polovině minulého století. Zkoumáme v ní změny stavu systému. Daný systém je oddělen od okolních těles. Na druhé straně okolní systém nějakým způsobem působí na daný systém. Bereme v úvahu podmínky, v nichž se systém nalézá. Parametry, jimiž charakterizujeme stav systémů, nazýváme **stavové proměnné** a funkce jejich okamžitých hodnot **stavové funkce**.

V termodynamice předpokládáme existenci rovnovážného stavu, stavu **termodynamické rovnováhy**. V nerovnovážném stavu za daných vnějších podmínek (například objem) mohou nabývat makroskopické parametry (například tlak) nejrůznějších hodnot. Systém může probíhat nejrůznějšími stavy, ale jeho stav lze jednoznačně popsat až po dosažení rovnováhy. Po vzniku termodynamické rovnováhy je jakákoli další změna možná jen následkem nového vnějšího zásahu.

Parametry termodynamiky:

- **vnitřní**, který slouží k určení vlastností systému. Některé vnitřní parametry závisejí na vnějších parametrech
- **vnější**, kterými popisujeme podmínky, v nichž se systém nalézá (silové pole, nebo objem).

Termodynamika se dělí:

- na **fenomenologickou**, která nepřihlíží k vnitřní struktuře, vychází z experimentálně ověřených principů (termodynamických vět) a pomocí některých experimentálně známých vlastností a závislostí (měrná tepla, stavové rovnice) odvozuje další zákonitosti
- **statistickou** termodynamiku, která se zavádí ze známé představy o molekulové struktuře látky, a s její pomocí se studují obecné vlastnosti makroskopických systémů.

Pokud se zajímáme o fyzikální děje a aplikaci jejich řešení na děje v tepelných strojích a zařízeních, mluvíme o **technické termodynamice** (termodynamika aplikovaná na plyny a páry). Termodynamiku aplikovanou na chemické děje nazýváme **chemickou**

termodynamikou. Termodynamika má dominantní postavení v energetice a oborech s ní souvisejících.

[1,2]

1.1 ZÁKLADNÍ POJMY TERMODYNAMIKY

Termodynamický systém (termodynamická soustava) – makroskopický fyzikální objekt (nebo soubor objektů) oddělený od okolí myšleným nebo skutečným rozhraním. Objekt může být ve stavu pevném, kapalném, plynném nebo ve stavu fázových nebo chemických přeměn.

Uzavřený systém – systém, jehož rozhraním neprochází látka, může procházet teplo a mechanická práce. Hranice uzavřeného systému se může zvětšovat nebo zmenšovat.

Otevřený systém – opak uzavřeného systému, jeho rozhraním může procházet jak látka tak teplo nebo mechanická práce. Hranice otevřeného systému je neměnná.

Homogenní systém – systém skládající se z jediné fáze, v každém místě má fáze stejné vlastnosti a složení. Fyzikální vlastnosti homogenního systému nejsou funkcemi polohy uvnitř systému.

Nehomogenní systém – fyzikální vlastnosti nehomogenního systému jsou funkcemi polohy uvnitř systému.

Heterogenní systém – systém o více fázích.

Izotropní systém – fyzikální vlastnosti systému nejsou funkcemi směru (jsou ve všech směrech stejné).

Anizotropní systém – fyzikální vlastnosti systému jsou v různém směru různé (například krystal).

Stavové veličiny – stav termodynamické soustavy popisujeme stavovými veličinami (parametry). Aby veličina mohla být prohlášena za stavovou, musí splňovat určité požadavky:

- pro dva identické stavy látky musí být všechny stavové veličiny též identické

- hodnota stavové veličiny nezávisí na způsobu, jakým soustava daného stavu nabyla (nezávisí na druhu změny, při níž soustava přešla z počátečního stavu do konečného).

Veličiny jsou závislé pouze na stavu systému a mohou být:

- extenzivní (závislé na hmotnosti systému, například objem)
- intenzivní (nezávislé na hmotnosti systému, například tlak, teplota).

Termodynamická rovnováha systému – za stálých vnějších podmínek každý systém dospěje do stavu termodynamické rovnováhy. Do stavu, ve kterém v systému nenastávají žádné makroskopické změny. V systému je stejná teplota.

Termodynamický děj – změna stavu systému, mění se hodnoty stavových veličin. Při změně stavu může být systém v interakci (ve vzájemném působení) s okolím. Parametry popisující interakci systému a okolí jsou **práce** a **teplo**. Tyto parametry nejsou stavové veličiny. Příklady termodynamického děje:

- izotermický děj (děj při konstantní teplotě)
- izochorický děj (děj při konstantním objemu)
- izobarický děj (děj při konstantním tlaku)
- adiabatický děj (děj, který probíhá za tepelné izolace systému od okolí. Nevyměňuje teplo s okolím).

Práce – míra makroskopického působení systému a okolí. Energie předaná makroskopickým působením mezi systémem a okolím, kladně počítáme systémem vykonanou práci (práci vykonanou systémem na okolí).

Teplo – míra mikroskopického působení systému a okolí. Energie předaná mikroskopickým působením mezi systémem a okolím, kladně počítáme systémem přijaté teplo (teplo přijaté systémem od okolí). Teplo a práce charakterizují způsob přenosu energie.

Izolovaný systém – systém, který není v interakci s okolím. Nevyměňuje s okolím energii, takže nepřijímá ani neodevzdává teplo okolí a nekoná práci na okolí, ani okolí nekoná práci na systém.

Tepelně izolovaný systém – systém nevyměňuje teplo s okolím

- vratný = reverzibilní děj – děj, při kterém systém prochází spojitě řadou rovnovážných stavů. Aby systém procházel vratným dějem, je nutné, aby se vnější tlak a teplota lišila od tlaku a teploty systému diferencially. Při vratném ději diferencially změnou vnějších podmínek můžeme chod děje obrátit. Vratný děj je modelem nevratného děje
- nevratný = ireverzibilní děj – opak vratného děje.

Cyklus, kruhový děj – systém projde cyklem, když uzavřený systém projde řadou stavů tak, že konečný stav je totožný s počátečním stavem. To znamená, že všechny stavové veličiny mají na konci cyklu stejnou hodnotu jako na jeho počátku.

[3, 4]

1.2 TEPLOTA A ENERGIE

Teplota

Teplota je charakteristika tepelného stavu hmoty, ovlivňuje téměř všechny stavy a procesy v přírodě. V obecném významu je to vlastnost předmětů a okolí, kterou je člověk schopen vnímat a přiřadit jí pocity studeného, teplého či horkého. Při styku dvou těles se mění všeobecně jejich teploty, jedno těleso se podle našich pocitů ohřívá a druhé ochlazuje. Se změnou teploty se mění některé fyzikální vlastnosti těles. Této změny se využívá k měření teploty látek.

V přírodních a technických vědách je teplota skalární intenzivní veličina vhodná k popisu stavu ustálených makroskopických systémů. Teplota souvisí s kinetickou energií částic látky, je klíčovou veličinou pro popis tepelných jevů. K jejímu měření používáme teploměr. Teplota není veličina přímo měřitelná, zjišťuje se nepřímo prostřednictvím změn měřitelných fyzikálních vlastností, které změna teploty způsobuje na jiných soustavách. V průmyslových měřeních se využívá například změna elektrického odporu vodiče s teplotou (odporové teploměry) nebo termoelektrický jev, při němž zvýšení teploty spoje dvou elektrických vodičů z různých materiálů vyvodí

elektrické napětí (termočlánky). K měření vysokých teplot se využívá pyrometrů využívajících záření zahřátého tělesa.

Rozlišujeme teplotu:

- skutečnou (specifickou), kterou měříme od bodu mrazu vody a označujeme ji t [$^{\circ}\text{C}$]
- absolutní, neboli termodynamickou, kterou měříme od absolutní nuly a označujeme ji T [K]

$$T [\text{K}] = t [^{\circ}\text{C}] + 273.15, \quad (1)$$

Celková energie

Celková energie je součet všech forem energie obsažených v termodynamické soustavě, zejména *kinetické energie* E_{kin} (makroskopického pohybu hmoty např. v proudící tekutině), *potenciální energie* E_{pot} (vyvozenou vnějším potenciálním silovým polem), *kinetické energie mikroskopického pohybu* molekul E_k a *potenciální energie* E_p vyvozené mezimolekulovými silami, *chemické energie* spojené s chemickými reakcemi i energie obsažené v elektronovém obalu atomového jádra či v jádru samém.

$$E = E_k + E_p + E_{kin} + E_{pot} + E_{ostatní}, \quad (2)$$

kde E je celková energie [J]

Vnitřní energie soustavy

Kinetická energie mikroskopického pohybu molekul s potenciální energií mezimolekulového silového působení v termodynamice se nazývá vnitřní energie soustavy. Vnitřní energie ideálního plynu je pouze funkcí teploty. Označuje se U a základní jednotkou je Joul (J).

[1, 3, 5]

1.3 TEPLA A PRÁCE

1.3.1 ZDROJE TEPLA

Tepelná mechanika se zabývá působením tepla na látky tuhé, kapalné a plynné, pojednává o jeho využití v technické praxi a o způsobech přeměny tepla v jinou formu energie, především v mechanickou práci. Zasahuje téměř do všech oborů fyziky.

Teplo je druhem energie, zdrojem sil, jimiž si člověk podmaňuje přírodu a jichž využitím si usnadňuje život. Teplo se mění v tepelných strojích v mechanickou práci, využívá se v metalurgii (hutnictví) k tavení kovů, k průmyslovému vytápění, vaření, sušení a k jiným účelům. Tato energie je jednou z forem hmoty. Proto se važitelná hmota (látka) a energie za vhodných podmínek mohou navzájem přeměňovat (zákon o zachování važitelné hmoty a zákon o zachování energie splývají v jediný zákon o zachování hmoty). Proto je vznik energie vždy spojen s úbytkem važitelné hmoty a naopak.

Einstein odvodil vzájemný vztah mezi važitelnou hmotou a energií v rovnici:

$$E = mc^2, \quad (3)$$

Kde E je množství energie [kgm],

m je příslušné množství hmoty [$\text{kg s}^2/\text{m}$]

a c je rychlost světla [m/s].

Přeměnou látky na energii vzniká tak obrovské množství energie a úbytek važitelné hmoty je tak malý, že jej nelze zjistit ani na nejcitlivějších vahách.

Zákon o zachování energie říká, že zásoba energie na světě je stále stejná. Tedy energie sama nevzniká, ani se neztrácí, pouze se mění jeden druh energie na jiný druh energie. Na příklad v elektrickém obvodu se mění elektrická energie v energii tepelnou a světelnou. Naopak pohybovou energii můžeme měnit v teplo třením, nárazy, ...

Způsoby získávání tepelné energie:

- a) proměna chemické energie utajené v tuhých, kapalných nebo plynných palivech
- b) proměna elektrické energie
- c) technické využití sluneční energie

[6]

1.3.2 TEPLLO

Teplo je formou přenášené energie mezi systémem a okolím. Jeho přenos je vyvolán tepelným působením mezi systémem a okolím, teplotním spádem. Systému dodané teplo považujeme za kladné, odváděné teplo považujeme za záporné. Teplo patří mezi extenzitní veličiny. Jeho hodnota mezi dvěma stavy závisí na parametrech těchto dvou stavů a na způsobu průběhu děje mezi nimi.

Teplo a práce mají stejný rozměr a jednotky jako energie. Obě veličiny mění svého nositele. Před vstupem do soustavy jej tvořilo okolí, pak materiál a nakonec konečná látka tvořící obsah soustavy. Známe jejich nulovou hodnotu, která leží v počátku sledovaného děje. Obě veličiny jsou také závislé na druhu stavové změny, která v soustavě probíhá.

Teplo

$$Q_j = C_j(T_2 - T_1) = mc_j\Delta t, \quad (4)$$

kde Q_j je teplo [J],

C_j je tepelná kapacita [J/K],

c_j je měrná tepelná kapacita [J/kgK]

a T_2, T_1 jsou termodynamické teploty [K].

Vliv tepla na objem, tvar a skupenství látek

Při ohřívání zvětšuje látka svůj objem (roztahuje se), při ochlazování naopak svůj objem zmenšuje (smršťuje se). U tuhých látek je změna objemu poměrně malá. Ohřeje-

li se těleso délky l_0 , objemu V_0 a teploty $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ na teplotu t , zvětší se jeho délka o $\Delta l = l_0 \alpha t$ a objem o $\Delta V = V_0 \beta t$. Po ohřátí má tudíž těleso délku

$$l = l_0 + \Delta l = l_0 (1 + \alpha t), \quad (5)$$

a objem

$$V = V_0 + \Delta V = V_0 (1 + \beta t), \quad (6)$$

kde l je délka tělesa po ohřátí [m],

l_0 je původní délka [m],

Δl je změna délky po ohřátí [m],

α je součinitel délkové roztažnosti,

a t je teplota, na kterou se těleso ohřálo [$^{\circ}\text{C}$].

V je objem tělesa po ohřátí [m^3],

V_0 je původní objem [m^3],

ΔV je změna objemu po ohřátí [m^3],

β je součinitel objemové roztažnosti

a t je teplota, na kterou se těleso ohřálo [$^{\circ}\text{C}$].

Největší roztažnost mají vzdušiny, menší kapaliny a nejmenší tuhé látky. Nemohou-li se tělesa při oteplení volně roztahovat nebo při ochlazování volně smršťovat, vznikají v nich často vysoká napětí, která mohou vést i k porušení tělesa. Tuhé látky se ohříváním mění v kapalinu (taví se nebo tají), kapalina se ochlazováním mění v tuhé látky (tuhnou). Kapaliny se ohříváním mění v páry, páry se ochlazením

mění v kapaliny. Některé tuhé látky se ohříváním mění přímo v páru (sublimují). Teplota, při které mění látka své skupenství, se nazývá **teplotou tání**. Množství tepla potřebné k přeměně tuhé látky ze skupenství tuhého do kapalného se nazývá **tavicím teplem**. Teplota tání a tavicí teplo je závislé na tlaku.

[6]

1.3.3 PRÁCE

Práce síly F po trajektorii je schopna měnit celkovou a kinetickou energii mechanické soustavy.

Objemová práce

$$\delta W = F dx = p A dx = p dV, \quad (7)$$

kde V značí objem soustavy [m^3].

V soustavě je uzavřená stlačitelná látka o tlaku p [Pa], která působí na plochu $S[\text{m}^2]$ pístu tlakovou silou o velikosti $F = p \cdot S$. Posune-li se píst o dráhu dx , vykoná tlaková síla objemovou práci.

Ve všeobecnosti se práce pokládá za kladnou, pokud vystupuje ze soustavy do okolí, je soustavou vyráběna. Objemová práce je prací, kterou ze soustavy získáme nebo jí dodáme při jednorázovém ději.

[3, 5, 6]

1.4 TERMODYNAMICKÉ ZÁKONY

1.4.1 NULTÝ ZÁKON TERMODYNAMIKY

Každý makroskopický systém za stálých vnějších podmínek dospěje do stavu rovnováhy, kdy se parametry popisující stav systému nemění. Podmínkou termodynamické rovnováhy je konstantní teplota ve všech místech systému. K termodynamické rovnováze dvou systémů postačí rovnost jejich teplot. Z tohoto zákona vycházíme při měření teploty.

Je-li těleso A v tepelné rovnováze s tělesem B, a dále též těleso B v tepelné rovnováze s tělesem C, pak jsou též tělesa A a B ve vzájemné tepelné rovnováze. Zákon nám umožňuje definovat teplotu, jako termodynamickou veličinu: dvě tělesa, která jsou ve vzájemné tepelné rovnováze, mají stejnou teplotu.

[4, 5]

1.4.2 PRVNÍ HLAVNÍ VĚTA

První hlavní věta vyjadřuje princip zachování energie. Je základním zákonem fyziky, jehož platnost je ověřena pro makroskopické i mikroskopické děje. Podle tohoto principu se energie nemůže ani ztratit, ani vzniknout z ničeho. Pro uzavřený systém je energie stálá. Přitom může jeden druh energie přecházet v energii jiného druhu tak, že přírůstek jedné energie je roven úbytku energie jiné. Proto při každé přeměně tepla v mechanickou energii se rovná úbytek tepla vykonané práci. Z toho plyne, že není možné sestavit perpetuum mobile prvního druhu. Stroj, který by plynule dodával mechanickou energii, aniž by při tom nespotřeboval stejné množství jiné energie.

Celková energie soustavy, zvaná **vnitřní energie** U , se změní tehdy, dostane-li se soustavě energie zvenčí, dodaná jako mechanická energie prací vnějších sil nebo jako tepelná energie. Tepelná energie dodaná soustavě a zčásti i její vnitřní energie jsou pohybové energie neuspořádaných pohybů molekul. Energie mechanická vzniká z uspořádaných pohybů molekul těles, která na soustavu působí.

První hlavní věta termodynamická

$$dU = \delta Q + \delta A, \quad (8)$$

kde dU je malá změna vnitřní energie soustavy [J],

δQ je teplo [J]

a δA je mechanická energie dodaná soustavě z vnějšku prací nějakých sil [J].

Změna vnitřní energie závisí na veličinách určujících stav a nezávisí na způsobu, jakým se soustava dostane do svého stavu ze stavu původního.

Množství tepla a mechanická energie potřebná na práci jsou různé podle toho, jakým způsobem se soustava měnila. Celková práce při nějaké změně nezávisí jen na způsobu přechodu (cestě) plynu z počátečního stavu do konečného.

Energie je veličina, která je mírou schopnosti daného systému konat mechanickou práci. Měříme ji v jednotkách práce [J]. Podle toho jaké změny při konání práce v systému nastanou, rozlišujeme energii mechanickou, chemickou, elektrickou, ...

Energii systému pak definujeme vztahem

$$dW = -dE, \quad (9)$$

kde dW je práce vykonaná systémem [J]

a dE je úbytek jeho energie [J].

Celková energie je veličinou stavovou, závisí pouze na stavu (parametrech) soustavy, nikoli na stavech, kterými soustava prošla.

Celkovou energii systému E pak můžeme vyjádřit jako:

$$E = E^{makro} + U, \quad (10)$$

kde E je celková energie systému [J],

E^{makro} je makroskopická energie [J]

a U je vnitřní energie [J].

Clausius formuloval přeměnitelnost tepelné energie jako První zákon termodynamiky, který zní: *Teplo je energie, která je rovnomocná mechanické práci.*

Vnitřní tepelná energie – každá látka obsahuje v daném stavu určité množství energie. Tato energie je součtem všech forem energií, které látka obsahuje, tj. energie tepelné, elektrické, magnetické, potenciální energie molekul, energie vnitřních sil molekul a atomů. Přivádíme-li látce teplo, zvětšujeme její energii. Mluvíme o vnitřní energii látky. Přivedením tepla do látky, měníme její vnitřní (tepelnou) energii a její tepelný stav. Vnitřní energie je funkcí stavu, tj. veličinou stavu. V termických výpočtech jde o velikost přírůstku nebo úbytku během změny jejího stavu.

[1, 4, 6, 7]

1.4.3 DRUHÁ HLAVNÍ VĚTA

První hlavní věta termodynamická říká, že energie nemůže ani zaniknout, ani vzniknout sama sebou. Za zmařenou práci vznikne ekvivalentní teplo, a naopak spotřeba jistého množství tepla se projeví mechanickou prací. Práci lze velmi snadno přeměnit v teplo například třením. Přivedeme-li do tepelného styku dvě tělesa různé teploty, která tvoří uzavřenou soustavu, bude teplo samovolně přecházet z teplejšího tělesa na chladnější tak dlouho, až nastane rovnovážný stav. K dosažení výchozího stavu by bylo třeba obráceného děje, při němž by teplo přecházelo z chladnějšího tělesa na teplejší. Takový děj sám od sebe nemůže nastat. A lze ho přivodit jen použitím složitějšího stroje (tepelné pumpy).

Takové děje čili stavové změny, které probíhají jedním směrem, nikoli však opačným, nazýváme nevratné (ireversibilní). K dosažení obráceného děje je třeba vždy vynaložit nějakou energii ze zdroje, který nepatří k vyšetřované soustavě. Docházíme k závěru, že všechny děje jsou nevratné, neboť aspoň část mechanické energie se vždy změní v teplo, čímž se poruší teplotní rovnováha a teplo proudí od míst teplejších k chladnějším. Směr přirozených pochodů v přírodě plyne z druhé hlavní věty termodynamické.

Například Clausius vyslovil druhou hlavní větu takto: „*Teplo nemůže samovolně přecházet ze studenějšího tělesa na teplejší.*“

Planck vyslovil druhou hlavní větu takto: „*Není možno sestavit periodicky pracující stroj, který by nezpůsobil nic jiného, než že by ochlazoval tepelnou lázeň a konal rovnomocnou práci.*“

Teplo, které se nezužítkuje pro mechanickou práci, se ve shodě s první hlavní větou neztrácí, ale přejde na chladnější těleso. Při nevratném přechodu tepla z tělesa vyšší teploty na těleso nižší teploty dochází k částečnému znehodnocení tepelné energie

[1, 4]

1.4.4 TŘETÍ HLAVNÍ VĚTA

Třetí hlavní věta termodynamická se týká chování látek v samé blízkosti absolutní nulové teploty. To má význam při určování hodnot volné energie, která rozhoduje o průběhu chemických reakcí. Některé vlastnosti látek v blízkosti absolutního

bodů mrazu se nemění s teplotou a některé fyzikální a fyzikálně chemické veličiny jsou při velmi nízkých teplotách prakticky rovny nule. Kromě měrného tepla je to například teplotní roztažnost a elektrický odpor kovů.

Nejsou-li vlastnosti látek v blízkosti absolutního bodu mrazu závislé na teplotě, nemůžeme již vnějším působením snižovat jejich teplotu, takže třetí hlavní větu lze vyslovit také: *Čistou pevnou látku nelze konečným pochodem ochladit na absolutní nulovou teplotu.*

Podle třetí hlavní věty můžeme tedy absolutní nulovou teplotu považovat za mezní teplotu, k níž se sice můžeme přiblížit, které však dosáhnout nemůžeme.

[1, 4]

2 ZÁŘENÍ

Optika značí ve svém původním významu část fyziky pojednávající o světle, které vnímáme očima a které je nejdůležitější ze všech prostředků, jimiž získáváme poznatky o vnějším světě. Světlo má mnoho společných vlastností se zářením. Tím se nauka o světle stává částí nauky o záření, která se zabývá studiem různých druhů záření. Úkolem optiky je nejen studium vlastností záření, ale i fyzikální výklad o podmínkách jeho vzniku v látkách. Světlo i ostatní druhy záření jsou základním projevem látek.

Vyzařování (emisi) a také **pohlcování** (absorpci) záření můžeme vysvětlit použitím kvantové fyziky. Atom se skládá z kladně nabitého jádra a negativně nabitých elektronů, které obíhají kolem jádra po stanovených drahách. V kladně nabitém jádru jsou neutrony a protony. Energie elektronu je tím větší, čím dále je elektron od jádra. Má-li se elektron vzdálit od jádra, musí k tomu odněkud získat energii. Má-li se k jádru přiblížit, uvolní energii ve formě záření. Každá taková dráha je energetickou hladinou. Dodáme-li elektronu energii, může se dostat na jinou dráhu. Atom je pak ve vzbuzeném stavu, ve kterém může setrvat krátkou chvíli, pak spadne po stupních. Při tom se uvolňuje energie. Vznikne záření s kvanty určité energie, tedy záření zcela určitého kmitočtu, popřípadě vlnové délky.

Šíření energie prostorem, které je možné i bez látkového prostředí nazýváme **záření**. Kromě energie přenáší záření vždy hmotnost, případně elektrický náboj

(radioaktivní záření). Nejznámější záření je *elektromagnetické*. Především jeho viditelná část (světlo) a přilehlé ultrafialové a infračervené záření. Každé vyzařování tělesa je spojeno s výdejem energie, který je buď hrazen úbytkem energie tělesa samotného, nebo se získává z okolí. Pevná tělesa nebo kapaliny mohou být k záření buzena vysokou teplotou. Jde o tzv. teplotní záření, které je částí elektromagnetického záření. Při teplotách nižších než 500-560 °C září tělesa v oblasti infračerveného záření.

Při vyšších teplotách vydávají i záření viditelné. Na povrchu tělesa je v činnosti velký počet elementárních zářičů (kmitající elektrické náboje, které si vyměňují energii s okolním elektromagnetickým polem), z nichž se šíří zářivá energie do okolního prostoru. Pomocí záření můžeme studovat strukturu látek.

[1, 2, 8, 9, 10]

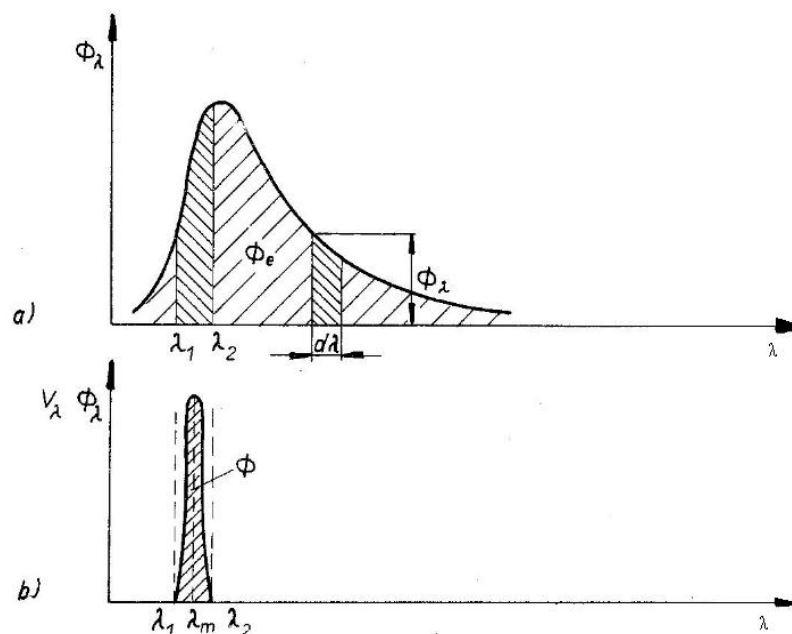
2.1 ZÁKLADNÍ VELIČINY

Zářivá energie W_e, Q [J resp. Ws]

Energie přenášená elektromagnetickým zářením (tokem fotonů) nebo látkovým zářením (tokem částic). Zářivá energie se kvantifikuje jako celková radiační energie generovaná ze zdroje záření, šířící se prostředím nebo přijímána detektorem záření.

Světelná energie W

Světelná energie je zářivá energie připadající na viditelný obor elektromagnetického záření. Záření světelných zdrojů se skládá z jednobarevných (monochromatických) záření o různých vlnových délkách. Na Obr. 1 je vyznačeno rozložení spektrální hustoty zářivého toku Φ_λ na jednotlivé vlnové délky λ . Plocha omezená křivkou a osou vlnových délek určuje celkový zářivý tok Φ_e vydaný zdrojem.



Obr. 1 a, rozložení spektrální hustoty zářivého toku; b, světelný tok [2]

Zářivý tok a jeho spektrální hustota

Zářivý tok a jeho spektrální hustota charakterizují zářivou energii, nevystihují však jeho schopnost vyvolat zrakový vjem. Infračervené a ultrafialové záření nevyvolává zrakový vjem ani při značných hodnotách zářivého toku, naproti tomu obor viditelného záření budí již při velmi malém zářivém toku silný zrakový vjem. Oko je nejcitlivější na žlutozelené světlo vlnové délky $\lambda = 555 \text{ nm}$. Studium fyziologických zákonů vidění se zabýval český přírodovědec Jan Evangelista Purkyně, který došel k závěru: „při stejném denním osvětlení se jeví modrý papír tmavší než červený, za šera je tomu naopak“.

Zářivý tok Φ [J/s resp. W]

Zářivý tok udává celkový výkon emitovaný ze zdroje, šířící se prostředím nebo absorbovaný detektorem. Zářivou energii, kterou vysílá povrch zářícího tělesa nějakou plochou za jednotku času, tedy výkon přenášený zářením. Často se používá i pojmu **zářivý výkon**.

$$\Phi = \frac{dQ}{dt}, \quad (11)$$

kde Φ je zářivý tok [J/s]

dQ je zářivá energie [J]

a dt je čas [s].

Spektrální hustota zářivého toku Φ_λ

$$\Phi_\lambda = \frac{d\Phi_e}{d\lambda}, \quad (12)$$

kde Φ_λ je spektrální hustota zářivého toku [W/m],

$d\Phi_e$ je část zářivého toku, která připadá na interval vlnových délek

a $d\lambda$ je interval vlnových délek omezený délkami λ_1, λ_2 .

Světelný tok

Zářivý tok charakterizující zhodnocení výkonu přenášeného zářením vzhledem k rozdílné citlivosti lidského oka na různé barvy. Světelné toky vyšetřovaných zdrojů srovnáváme na základě rovnosti intenzity subjektivních vjemů se světelným tokem, který vydává určitý zářič.

Světelným tokem také nazýváme **výkon zářivé energie**, zhodnocený podle světelného vjemu, který vyvolává. Jednotkou světelného toku je 1 lumen [lm].

Svítivost I

Výkon světla generovaný z bodového izotropního zdroje do jednotkového prostorového úhlu.

$$I = \frac{d\Phi}{d\omega}, \quad (13)$$

kde I je svítivost zdroje [cd],

$d\Phi$ je světelný tok, který zdroj vysílá do prostorového úhlu

a $d\omega$ je prostorový úhel [sr].

Jednotkou svítivosti v soustavě SI je kandela [cd]. Je to kolmá svítivost povrchu absolutně černého tělesa při teplotě tuhnutí platiny za tlaku 101 325 Pa. Pomocí

svítivosti lze vyjádřit, jak je světelný tok vysílaný zdrojem v prostoru rozložen. Při měření svítivosti různých zdrojů používáme přístroje zvané fotometry.

Zářivost I_e

Výkon generovaný z bodového izotropního zdroje do jednotkového prostorového úhlu. Zářivost všech skutečných látek nezávisí při určité vlnové délce jen na teplotě, ale i na chemickém složení a na stavu povrchu.

$$I_e = \frac{d\Phi_e}{d\omega}, \quad (14)$$

kde I_e je zářivost [W/sr],

$d\Phi_e$ je zářivý tok [J/s]

a $d\omega$ je prostorový úhel [sr].

Zdroje světla

- vlastní – Slunce, rozžhavená tělesa
- nevlastní – odrážejí světlo dopadající na ně od vlastních zdrojů

Hustota intenzity vyzařování M_λ

$$M_\lambda = \lim_{d\lambda \rightarrow 0} \frac{M_e * (\lambda + d\lambda) - M_e * (\lambda)}{d\lambda}, \quad (15)$$

kde M_λ je hustota intenzity vyzařování [W/m³],

M_e je intenzita vyzařování tělesa [W/m²]

a λ je pohltivost.

Těleso záření nejen vysílá, ale může záření na ně dopadající i pohlcovat (absorbovat). Každá látka dopadající záření částečně odráží, částečně propouští a zbytek pohlcuje. Přičemž platí:

$$\rho_\lambda + \tau_\lambda + \alpha_\lambda = 1, \quad (16)$$

kde ρ_λ je součinitel spektrální odrazivosti (poměr odražené a dopadající spektrální hustoty zářivého toku),

τ_λ je součinitel spektrální propustnosti (poměr prošlé a dopadající spektrální hustoty zářivého toku)

a α_λ je součinitel spektrální pohltivosti (poměr absorbované a dopadající hustoty zářivého toku).

Součet energií záření odraženého, propuštěného a pohlceného je rovný energii záření dopadajícího záření.

Mezní případy:

$\tau_\lambda = 1$ – těleso je dokonale průhledné

$\rho_\lambda = 1$ – těleso dokonale zrcadlí (je absolutně bílé)

$\alpha_\lambda = 1$ – těleso absorbuje celou dopadající energii (absolutně černé těleso).

[1, 2, 8, 9, 10]

2.2 VLNOVÁ A ELEKTROMAGNETICKÁ OPTIKA

Téměř všechny objekty ve vesmíru emitují (vysílají), odrážejí nebo propouštějí záření. Zastoupení jednotlivých vlnových délek v tomto záření je dáno materiálovým složením objektu. Podle povahy záření přicházejícího od objektu rozlišujeme:

- emisní spektrum – spektrum je tvořeno především tepelným zářením vyzařovaným samotným objektem
- absorpční spektrum – spektrum je tvořeno především zářením pozadí, které objekt z částí propouští a z částí pohlcuje.

Pro popis vlastností záření, jeho vzniku a šíření se používá několik metod. Základním popisem je paprsková optika. Na druhou stranu lepší a komplexnější popis nám dává vlnová a elektromagnetická optika. Obecné záření (světlo nebo jiný tok částic – fotonu) se šíří ve formě vln. Tyto vlny se ve vakuu šíří přibližně rychlostí světla ($3 \cdot 10^8$ m/s). V ostatních prostředích se šíří pomaleji dle rovnice:

$$c = \frac{c_0}{n}, \quad (17)$$

kde c je rychlost světla v prostředí [m/s],

c_0 je rychlost světla ve vakuu [m/s]

a n je index lomu prostředí [1].

Vlnová optika definuje záření pomocí jeho vlnové délky:

$$\lambda = \frac{c}{\nu}, \quad (18)$$

kde λ je vlnová délka [m],

c je rychlost světla ve vakuu [m/s]

a ν je frekvence vlny [s⁻¹].

Viditelné světlo patří do oblasti vlnových délek přibližně 430 nm (fialová barva) až po 750 nm (červená barva). Infračervené záření (také nazývané IČ nebo IR) má vlnovou délku větší než viditelné světlo. Od 750 nm do 1 mm. Toto spektrum je ještě dále rozděleno do 4 pásem:

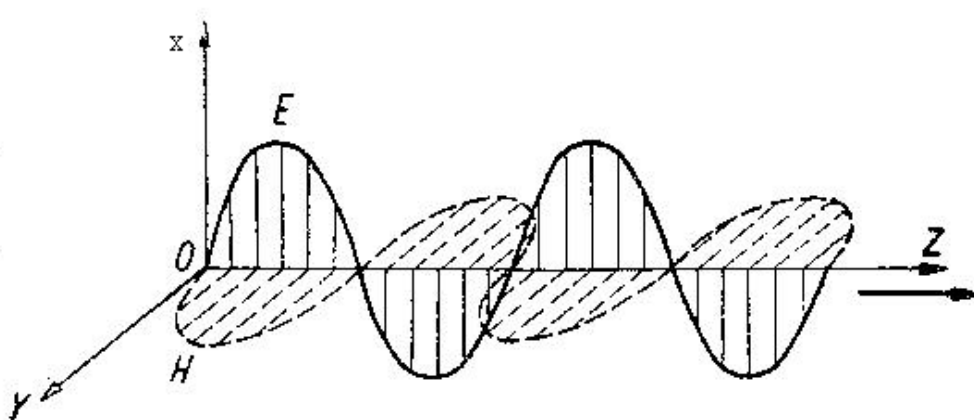
- a) blízké IČ pásmo (0,75 – 3 μm)
- b) střední IČ pásmo (3 – 6 μm)
- c) vzdálené IČ pásmo (6 – 15 μm)
- d) velmi vzdálené IČ pásmo (15 – 100 μm).

[11, 12]

2.3 ELEKTROMAGNETICKÉ ZÁŘENÍ

Podstatou Roentgenova, ultrafialového, viditelného záření a infračerveného záření je fyzikální děj, který má vlnovou (undulační) a částicovou (korpuskulární) povahu. První jsou *elektromagnetické vlny*, tvořené kmity *intenzity elektrického pole E*

a *intenzity magnetického pole H* . Elektrická a magnetická pole jsou spolu nerozlučně spjata. Kmitání se šíří ve formě vln. Vzniklé elektromagnetické vlny se rozlišují podle vlnové délky. Všechna záření jsou tedy tvořena elektromagnetickými vlnami, složenými z příčných a navzájem kolmých elektrických a magnetických vln (Obr. 2). Ve vakuu a přibližně i ve vzduchu se šíří stejnou rychlostí ($3 \cdot 10^8$ m/s – rychlost světla). V jiných prostředích je jejich rychlost menší. Jednotlivé druhy záření se od sebe liší pouze vlnovou délkou λ . Čím větší je vlnová délka, tím menší je kmitočet (frekvence). Elektromagnetické vlny vycházejí ze zdroje záření.



Obr. 2 Elektromagnetická vlna šířící se v kladném směru osy Z. Vektor E kmitá v rovině X0Z, vektor H kmitá v rovině Y0Z. [14]

Základní charakteristikou elektromagnetického vlnění je *vlnová délka λ* , *frekvence ν* a *energie fotonu E_ν* .

$$\nu = \frac{c}{\lambda}, \quad (19)$$

kde ν je frekvence [Hz] nebo $[s^{-1}]$,

c je rychlost světla ve vakuu [m/s]

a λ je vlnová délka [m].

Frekvence udává, kolikrát za vteřinu se v určitém bodě v prostoru obnoví týž stav. Čím vyšší je kmitočet, tím větší energii má zářivé kvantum. Ultrafialové paprsky mají větší energii než viditelné světlo a to má zase větší energii než záření ultračervené.

Světelná energie vychází ze zdroje po částech, které mají velikost

$$E_v = h \cdot \nu = \frac{hc}{\lambda}, \quad (20)$$

kde E_v je energie fotonu [J],

h je Planckova konstanta ($h=6,626069 \cdot 10^{-34} \text{ J/s}$),

c je rychlost světla ve vakuu ($c \approx 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$)

a λ je vlnová délka [m].

Elektromagnetické záření má vedle vlnového charakteru též částicový charakter, který si představujeme jako proud jednotlivých částic, fotonů. Každý foton má nepatrnou hmotu a jistou hybnost. Vlnový charakter záření se projevuje v oboru delších vln, částicový charakter záření se projevuje v oboru kratších vln. Vyjadřování ve vlnových délkách odpovídá vlnovému charakteru záření a je vhodnou veličinou v měřicí technice. Vyjadřování v kmitočtech odpovídá částicovému charakteru záření a je vhodné tam, kde jde o vyjádření kvantových stavů energie. Elektromagnetické spektrum záření zaujímá rozsáhlý vlnový obor.

Elektromagnetická spektroskopie je odvětví fyziky zabývající se charakterizováním látek pomocí jejich spekter. Mapa zobrazující všechny vlnové délky elektromagnetického záření se nazývá elektromagnetické spektrum (Obr. 3). Podle vlnových délek se spektrum dělí:

- ***rádiové vlny***

Dovedeme ho vytvořit pomocí elektronických zařízení (vysílačů s anténou). Slouží především k přenosu zvukových, obrazových a dalších informací. Rozhlas využívá dlouhé, střední, krátké a velmi krátké (FM) vlnové délky. Rádiové vlny

s nejkratší vlnovou délkou využívají radary, satelitní televize, mobilní telefony, GPS přístroje, mikrovlnné trouby,

- ***infračervené záření***

Infračerveným zářením nazýváme záření větších vlnových délek, pokračujících od temně červeného okraje viditelného spektra. Je vyzařováno rozžhavenými tělesy. Pro nás je záření neviditelné a vnímáme ho jako tepelné záření (sálání) tepelných zdrojů. Je součástí slunečního záření. Právě infračervené záření se využívá při měření teploty bezkontaktní metodou. Infračervené záření se z technologického hlediska dle vlnového rozsahu dělí na pásma

- *krátkovlnné pásmo* od $0,75\mu\text{m}$ do $3\mu\text{m}$, které se svými fyzikálními vlastnostmi blíží viditelnému záření,
- *střední pásmo* od $3\mu\text{m}$ do $6\mu\text{m}$, které se zařazuje do oblasti silného tepelného vyzařování,
- *vzdálené IR* od $6\mu\text{m}$ do $15\mu\text{m}$, které je nejnižší částí pásma, lze je zahrnout do mikrovln. Záření je výrazně absorbováno,
- *velmi vzdálené IR* od $15\mu\text{m}$ do $100\mu\text{m}$.

Hranice jednotlivých pásem nejsou vymezeny jednoznačně.

- **viditelné světlo**

Jediný druh elektromagnetického záření, které přímo vnímáme zrakem. Bílé světlo je možno skleněným hranolem nebo optickou mřížkou rozložit podle vlnových délek na jednotlivé spektrální barvy (Obr. 4). Je významnou složkou slunečního záření, dopadajícího na zemský povrch.

- ***ultrafialové záření***

Slunce je přírodním zdrojem ultrafialového záření, zadržuje ho zemská atmosféra. Zdrojem jsou i výbojové trubice, ve kterých vzniká záření průchodem elektrického proudu rtuťovými parami.

- **rentgenové záření**

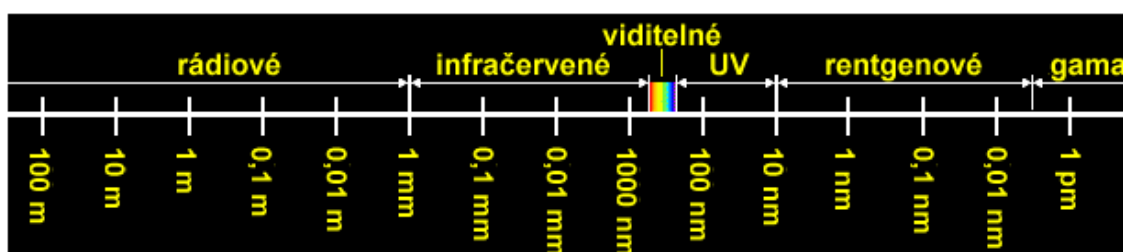
Fotony rentgenového záření mají velkou energii, a proto má toto záření značnou pronikavost. Zemská atmosféra rentgenové záření přicházející z vesmíru nepropouští a chrání nás před jeho účinky.

- **gama záření**

Radioaktivní záření, které vzniká při jaderných reakcích v jádrech izotopů některých prvků. Vyznačuje se velkou pronikavostí a ionizačními účinky.

<i>Rozdělení elektromagnetického záření</i>	<i>Vlnová délka</i>
Rádiové vlny	2000 m ~ 10^{-3} m
Infračervené záření	10^{-3} m ~ $79 \cdot 10^{-8}$ m
Viditelné světlo	$79 \cdot 10^{-8}$ m ~ $39 \cdot 10^{-8}$ m
Ultrafialové záření	$39 \cdot 10^{-8}$ m ~ 10^{-8} m
Rentgenové záření	10^{-8} m ~ 10^{-12} m
Gama záření	menší než 10^{-12} m

Tab. 1 Elektromagnetické záření a jeho vlnové délky



Obr. 3 Elektromagnetické spektrum [13]



Obr. 4 Spektrální barvy viditelného světla [13]

Přestože rozčlenění jednotlivých druhů elektromagnetické energie je vymezeno přesně, ve skutečnosti se jednotlivé oblasti vzájemně překrývají. Některé vlnové délky

vykazují vlastnosti dvou oblastí spektra. Například červené světlo se podobá infračervenému záření svou schopností rezonance vůči některým chemickým vazbám.

[1, 8, 11, 13, 14]

2.3.1 METODY DETEKCE A MĚŘENÍ NEVIDITELNÉHO ZÁŘENÍ

Záření je šíření energie a měřicí metody se liší od sebe podle druhu energie, ve kterých se při detekci mění energie záření.

Mechanická energie

Každé záření působí při dopadu na povrch těles mechanickým tlakem. K měření intenzity záření se tlaku dosud nepoužilo.

Tepelná energie

Zářivá energie se mění při absorpci záření v tepelnou energii, již se užívá k měření dlouhovlnného, optického a tepelného záření. Jde o nepatrné změny teplot. Jejich měření se převádí na metody elektrické. Všeobecně známý je **bolometr**, který je založený na změně odporu platinové fólie s teplotou. Folie pohlcuje prakticky veškeré záření. K měření velmi slabého tepelného záření lze také užít **termoelektrický článek**. Energie dopadajícího záření se přeměňuje v teplo.

Světelná energie

Světelná energie vzniká při dopadu krátkovlnného elektromagnetického záření a korpuskulárního záření na fluorescenční látku. Fluorescence se z počátku užívala k detekci radioaktivního záření. Dnes se užívá k detekci krátkovlnného záření elektromagnetického záření. Mají-li fotony nebo hmotné částice dopadajícího záření dosti velkou energii, může dojít k odtržení elektronů (k ionizaci). Tak lze přeměnit energii záření na energii elektrickou.

Elektrická energie

Výše popsaným způsobem se elektrony vázané v atomu uvolní a neutrální atom se přemění v kladný iont. Působením elektrického pole se kladný ion i záporný elektron

zrychlují. Roste tak počet volných nábojů, které mohou způsobit měřitelný elektrický proud.

[1]

2.3.2 INFRAČERVENÉ (TEPELNÉ) ZÁŘENÍ

Na straně dlouhých vln se k viditelnému spektru přimyká infračervené záření, které vydává žhnoucí látka. Jeho spektrum je spojité. Má podobné vlastnosti jako viditelné světlo. Pevná tělesa a kapaliny mohou být vzbuzeny k záření nejsnáze vysokou teplotou. Pak mluvíme o teplotním záření, které je částí elektromagnetického záření. Při nižších teplotách než 500 °C je toto záření neviditelné a nazývá se infračervené záření nebo sálání. Při zvyšování teploty stoupá celkové množství vyzářené energie a záření se přesouvá ke kratším vlnovým délkám.

Elementárními zdroji infračerveného záření jsou atomy a molekuly látky, v nichž toto záření vzniká „kmity“ elektricky nabitých částic. Je-li atom v normálním, nevzbuzeném stavu, nachází se jeho obvodový elektron na nejnižší stabilní dráze a jeho energie je nejmenší. Aby atom vydával záření, musí být nejprve vzbuzen (excitován), což znamená, že jeho obvodový elektron musí přejít na vyšší energetickou dráhu. Musíme dodat atomu potřebnou energii a to absorpcí záření, nebo nárazem hmotné částice.

Teplotní zdroje

U těchto zdrojů je záření buzeno zvýšenou teplotou. Vysílané záření se pak nazývá záření ***teplotní***. Spektru teplotního záření tuhých a kapalných látek je spojité a spektrum plynů a par je čárové nebo pásové. Teplotním zdrojem záření je teoreticky každé těleso, jehož teplota je vyšší než 0 °K. Tyto zdroje vysílají záření všech vlnových délek elektromagnetického spektra, s velmi různou energií. S rostoucí teplotou zdroje roste energie infračerveného záření všech vlnových délek. Maximum záření se posouvá ke kratším vlnovým délkám.

Příklad vlnových délek maxim záření vydávaných tělesy různé teploty:

Slunce s teplotou barvy 6000 °K	$\lambda_{\max} = 0,55\mu$
těleso s teplotou barvy 3800 °K	$\lambda_{\max} = 0,78\mu$
těleso s teplotou barvy 800 °K, kdy zjišťujeme první světelný vjem	$\lambda_{\max} = 3,6\mu$
vroucí voda o teplotě 373 °K	$\lambda_{\max} = 7,8\mu$
lidské tělo o teplotě 310 °K	$\lambda_{\max} = 9,3\mu$
led o teplotě 273 °K	$\lambda_{\max} = 10,6\mu$
těleso chlazené na teplotu kapalného vzduchu 90 °K	$\lambda_{\max} = 32\mu$

Tab. 2 Vlnové délky maxim záření vydávaných tělesy různé teploty [14]

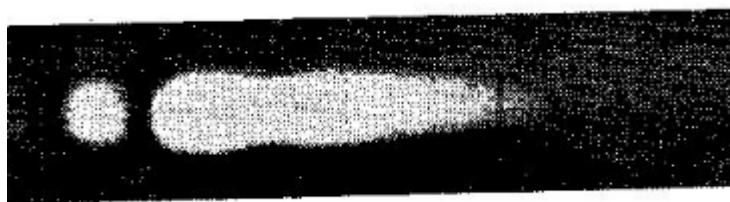
Pokud je teplota zdroje nižší než teplota lidského těla, pociťujeme v jeho blízkosti chlad, přestože vydává teplotní záření. Je-li teplota zdroje vyšší než teplota lidského těla, pociťujeme v jeho blízkosti teplo. Intenzita záření roste s teplotou. Lidské tělo vysílá záření a současně absorbuje záření dopadající na ně ze zdroje. Toto pohlcené záření se přeměňuje v teplo.

Luminiscenční zdroje

Tuto skupinu tvoří zdroje, u nichž je infračervené záření buzeno absorpcí jiného záření, spádem napětí ve výbojové dráze nebo jinými příčinami, kromě zvýšení teploty. Energie záření je v tomto případě hrazena z jiných forem energie než z energie tepelné.

O tepelném účinku světla a infračerveného záření vydávaného Sluncem, ohněm a horkými tělesy se člověk přesvědčoval denně a to již na nejnižším stupni vývoje. První pokus s infračerveným zářením z vědeckého hlediska provedli v 17 století žáci Galileiho, kteří zkoušeli „soustředit chlad“ ze vzdáleného ledového bloku pomocí zrcadel. Koncem 18 století byl položen Prévostem základ první a dodnes platné teorie záření těles. Při studiu propustnosti infračerveného záření různými látkami byly nalezeny rozdíly oproti jejich propustnosti světelné. O značné zlepšení infračervené techniky se roku 1831 zasloužili L. Nobili a M. Melloni zavedením termoelektrického sloupu, jakožto přijímače infračerveného záření. M. Melloni ukázal, že toto záření není jednoduché, ale skládá se z různých paprsků obdobně jako světlo z paprsků různých barev. Podle Melloniho totéž záření jeví různé účinky podle toho, zda je pozorujeme okem nebo termoelektrickým článkem.

Infračervené záření je ve své fyzikální podstatě totožné se světlem a sahá daleko za červený konec viditelného spektra. Toto záření jeví také všechny vlastnosti světla: šíří se přímočaře, odráží, láme, polarizuje, jeví interferenci apod. Rozdíly proti světlu jsou pouze kvantitativní, a nikoli kvalitativní. Tělesa vyzařují podle své teploty různé množství infračerveného záření různých vlnových délek, takže při nízké teplotě vyzařují pouze neviditelné dlouhovlnné infračervené záření. Se stoupající teplotou k nim přistupuje záření stále kratší vlnové délky, až při určité teplotě začne těleso vydávat též červené světlo. K němuž postupně přistupují složky oranžová, žlutá, zelená, modrá a fialová. Protože infračervené záření se řídí týmiž zákony jako světlo, lze jím vytvořit optickou soustavou podobně jako světlem obraz. Tento obraz je pro oko neviditelný. Roku 1840 J. F. W. Herschel, syn objevitele infračerveného záření, zviditelnil infračervené spektrum záření Slunce (Obr. 5). Sluneční spektrum promítl na plochu tenkého papíru, pokrytou vrstvou sazí a navlhčenou alkoholem. Na těch místech papíru, kde dopadalo infračervené záření, se alkohol vypařil dříve než na místech, kam nedopadalo nebo dopadalo s menší intenzitou. Herchelova metoda, založená na vypařování látky vlivem různé intenzity dopadajícího záření, byla podkladem metody „evapografické“ (metoda založená na vypařování). Po druhé světové válce bylo uveřejněno více způsobů zviditelnění infračerveného obrazu založených na tepelných účincích. Všechny metody umožňují zviditelnit obraz vytvořený infračerveným zářením libovolných vlnových délek.



Obr. 5 Infračervené spektrum slunce [14]

[14]

2.3.3 PŘIJÍMAČE INFRAČERVENÉHO ZÁŘENÍ

Přijímači infračerveného záření budeme rozumět přístroje a zařízení k zjišťování a měření tohoto záření. Jsou založeny na fyzikálních jevech, jež vznikají při absorpci záření látkou. Přijímače založené na fotochemickém, fotoelektrickém jevu jsou citlivé v úzkých oborech infračerveného spektra a jejich údaj je závislý nejen na intenzitě

dopadajícího záření, ale též na jeho vlnové délce. Signál přijímačů založených na oteplení, vyvolaném absorpcí záření, je obecně nezávislý na vlnové délce dopadajícího záření.

[14]

2.3.3.1 METODY ZVIDITELNĚNÍ OBRAZU VYTVOŘENÉHO INFRAČERVENÝM ZÁŘENÍM

Metody zviditelnění obrazu vytvořeného infračerveným zářením lze rozdělit:

- Selektivní
- Neselektivní

Neselektivní metody zviditelnění infračerveného obrazu jsou založeny na oteplení vyvolaném absorpcí záření hmotou. Skládají se z tenké vrstvy látky absorbující záření všech vlnových délek „černí“. Na tuto vrstvu je promítnut infračervený obraz. Vytvoří se v ní teplotní replika tohoto obrazu. Obraz se zviditelní užitím závislosti některé opticky indikovatelné veličiny na teplotě.

Příklady zviditelnění obrazu vytvořeného infračerveným zářením:

- selektivní
 - přímá metoda fotografická
 - metody fosforografické
- neselektivní
 - evapografická metoda
 - termokolografii

Přímá fotografická metoda zviditelnění infračerveného záření

Fotograficky můžeme zviditelnit infračervený obraz přímým a nepřímým způsobem. Přímý způsob je založen na přímém působení infračerveného záření na zvlášť zcitlivěnou (senzibilovanou) bromidostříbrnou fotografickou vrstvu. Senzibilizace fotografických vrstev je nejběžnější způsob jak zobrazit neviditelné infračervené záření. Snímky vynikají velkou rozlišovací schopností a nevyžadují zvláštní úpravu fotografického přístroje.

Zcitlivováním fotografických vrstev k záření větších vlnových délek se zmenšuje trvanlivost upravených vrstev. Citlivost hotových fotografických vrstev lze do

určité míry zvýšit hypersenzibilací, nebo je možno zesílit hotový latentní obraz před vyvoláváním tzv. latenizifikací.

Fosforografická metoda

Některé tuhé látky jeví tu vlastnost, že jsou-li ozařovány krátkovlnným zářením (ultrafialovým nebo modrým světlem), vysílají luminiscenční záření ještě delší dobu po ozáření. Jeho intenzita s časem klesá. Tyto látky nazýváme luminofoxy a luminiscenční záření, které vydávají po skončení ozařování, zářením fosforescenčním. Některé typy těchto luminofoxy mají tu vlastnost, že vyčerpávání energie záření, která je v nich akumulována, se urychluje absorpcí infračerveného záření určitých vlnových délek. Část akumulované energie záření se mění v energii tepelnou a část se projeví zvýšením intenzity fosforescenčního záření.

Metoda založená na vypařování (evaporace)

Dopadne-li na vrstvičku černě infračervené záření, absorbuje se, zmíněné místo se oteplí, a tím i příslušné místo kávrové nebo naftalenové vrstvičky. Tyto látky začnou přesublimovávat na místa neozářená. Tak se ozářená místa zeslabují a neozářená místa zesilují, čímž vznikne tloušťkový reliéf. U metody se nejdříve vytváří olejová vrstvička a na ní se promítne infračervený obraz. Přerušíme-li dopadající záření, pak zmíněné místo nabude opět teploty okolí. Nevýhodou evapografické metody je obtížná příprava labilních indikačních vrstviček. Pro praktické užití se tato metoda nehodí.

Termokolorografická metoda

Termokolorami nazýváme barevné látky, které při zahřátí na určitou teplotu změni svůj barevný tón, popřípadě při dalším zvyšování teploty změni barevný tón při různých teplotách i několikrát. Vyvolané barevné změny jsou reverzibilní. U termokolorografické metody je indikační vrstvička tvořena termokolorou a infračervený obraz zviditelněn změnami jeho barevného tónu. Na skleněné destičce je nanášena vrstvička termokolory a na ni vrstvička černé. Destička je zahřívána na teplotu těsně pod bodem změny odstínu barvy termokolory.

[14]

2.3.3.2 OPTICKÉ VLASTNOSTI LÁTEK V IF. OBORU

Pro infračervené záření platí stejné zákony jako pro světlo (přímočaré šíření, zákony odrazu a lomu, absorpce a polarizace). Látky v infračerveném oboru vykazují jiné optické vlastnosti oproti oboru viditelnému. Například látky, které světlo dokonale propouštějí (optická skla), jsou ve většině infračerveného oboru zcela nepropustné. Platí to i naopak. Poměr intenzity odražené k intenzitě dopadající dává *poměrnou odrazivost látky r* .

$$r = \frac{I_r}{I_o}, \quad (21)$$

kde r je poměrná odrazivost látky [1],

I_r je intenzita odražené části záření [W/m^2]

a I_o je intenzita dopadajícího záření [W/m^2].

Jestliže záření dopadá na rozhraní šikmo, pak odrazivost závisí nejen na indexu lomu, ale též na úhlu dopadu. Odraz na opticky vyleštěné ploše je „pravidelný“. Na drsné ploše je odražené záření rozptýlováno nepravidelně do různých směrů. Tento odraz se nazývá „nepravidelný“. Dochází tady k mnohonásobnému odrazu, a proto drsné plochy odrážejí záření méně, zdají se tedy tmavší než lesklé.

Prochází-li infračervené záření sloupcem atmosféry, je selektivně absorbováno ve vzduchu přítomnou vodní párou, kyslíčkem uhličitým a v menší míře též ozónem. Velikost absorpce je proměnlivá, protože obsah těchto plynů v atmosféře je také proměnlivý. Největší absorpci infračerveného záření způsobuje vodní pára.

[14]

2.3.4 ZDROJE SVĚTELNÉHO ZÁŘENÍ

Pod pojmem světelné záření (světlo) se rozumí viditelné záření, které je zhodnoceno zrakovým orgánem pozorovatele podle citlivosti oka k záření různých

vlnových délek. Zpravidla rozlišujeme světelné zdroje na přírodní a umělé. Přírodním zdrojem elektromagnetického záření je slunce. Ve spektru slunečního záření může oko člověka rozeznat asi 128 barevných tónů.

Světelné zdroje lze rozdělit na vlastní a nevlastní. Za **vlastní světelné zdroje** označujeme taková tělesa nebo látky, v jejichž struktuře dochází ke vzniku světla. Můžeme za něj považovat např. Slunce, žárovku nebo plamen. Za **nevlastní světelné zdroje** lze považovat látky, které samy světlo nevytvářejí, ale pouze odrážejí a rozptylují dopadající světlo. Zařazujeme sem například Měsíc, mraky nebo všechny osvětlené předměty.

Zdroje světla můžeme třídit podle způsobu, jakým je buzena svítící látka. Látky všech tří skupenství mohou být buzeny vysokou teplotou nebo absorpcí záření. Plyny lze budit také elektrickým napětím. Podle způsobu jak je záření buzeno, můžeme zdroje světla rozdělit na tři zdroje:

- **teplotní zdroje**

Teplotní zdroje vydávají světlo jako součást svého teplotního záření. Zdroje mají i dobrou světelnou účinnost, tj. aby co největší část jejich záření připadla na viditelné spektrum. Jako teplotní zářiče jsou vhodné pouze kapaliny a pevné látky. Buzeny mohou být přímo plamenem nebo nepřímo elektrickým ohřevem. Při zahřívání zářičů je nutno dosáhnout teploty, aby intenzita vyzařování byla co nejvyšší a maximální část teplotního záření připadla na viditelnou oblast spektra. Vyzařování obecného tělesa je závislé na jeho součiniteli spektrální pohltivosti α_λ ($\alpha_\lambda \leq 1$). Pro danou teplotu a vlnovou délku je hustota intenzity vyzařování M_λ nejvýše rovna hustotě intenzity vyzařování černého tělesa. Součinitel spektrální pohltivosti se může značně měnit s vlnovou délkou. Existují však tělesa, pro něž je součinitel spektrální pohltivosti konstantní ($\alpha_\lambda = \alpha$). Jde o takzvané šedé zářiče, které vyzařují všechny vlnové délky s intenzitou vyzařování zmenšenou proti intenzitě vyzařování černého tělesa stejné teploty. Platí pro ně vztah

$$M_e = \alpha * \sigma * T^4, \quad (22)$$

kde M_e je intenzita vyzařování tělesa [W/m^2],

α je pohltivost,

σ je Stefanova-Boltzmanova konstanta [$\text{W/m}^2\text{K}^4$]

a T je termodynamická teplota [K].

Pevné látky žhavené svítivým plamenem se žhavenými částčkami uhlíku (svíčka, petrolejová lampa s knotem), nebo látky žhaveném plamenem s punčoškou z kysličníku thoria a ceria (lampa na petrolejové páry). Pevné látky žhavené elektricky mohou být žhaveny Joulovým teplem (žárovky).



Obr. 6 Spojité spektrum ideálního spojitého zářiče [15]



Obr. 7 Čárové spektrum výbojky[15]

- **výbojové zdroje**

Světlo výbojových zdrojů se liší od světla teplotních zdrojů tím, že je složeno z jednotlivých čar nebo spektrálních pásů (Obr. 7). Nemají spojité spektrum. Do této skupiny patří zředěné plyny, které jsou buzeny elektrickým napětím. Plyn je umístěn ve výbojové trubici. Čím je plyn v trubici řidší, tím je buzení světla výhodnější. Záření je složeno z oddělených spektrálních čar nebo pásů, které mohou ležet jak vně, tak uvnitř viditelné oblasti. K výbojovým zdrojům patří zředěné plyny, buzené spádem napětí, jako jsou výbojky, doutnavky.

Fluorescenční zdroje vysílají záření, které je složeno z diskrétních čar nebo pásů. Jsou buzeny dopadajícím elektromagnetickým nebo jaderným zářením a září jen po dobu, v níž jsou ozařovány. Záření není spojité. Výbojový zdroj vyzařuje částečně i záření ultrafialové, které se mění fluorescencí ve viditelné světlo. Nejznámějšími zdroji tohoto typu jsou zářivky (výbojové trubice zevnitř pokryté fluorescenční látkou).

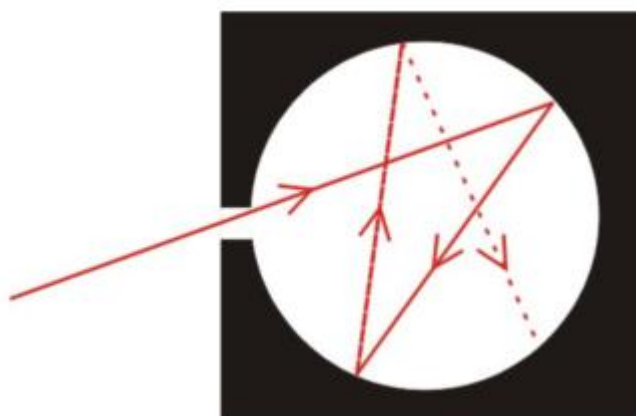
[1, 2, 15]

2.4 ZÁŘENÍ ČERNÉHO TĚLESA

Pozorujeme-li různá osvětlená tělesa, jež sama světlo nevydávají, pak tělesa, jejichž povrch odráží světlo méně, se nám jeví tmavší. Odráží-li tato tělesa pouze několik procent dopadajícího světla, jeví se nám černá. Nejlepší černě odrážejí pouze 1% světla.

Jak už bylo řečeno, látky všech skupenství vyzařují elektromagnetické vlnění, jehož vznik souvisí s neupořádaným pohybem elektricky nabitých částic v elektronových obalech jejich atomů. Takové záření označujeme jako tepelné záření. Kromě vyzařování záření může každé těleso záření odrážet, propouštět nebo pohlcovat (pohlčené záření se mění na tepelnou energii). Čím větší je pohltivost λ v oboru viditelného světla, tím tmavší se jeví povrch tělesa při osvětlení. Množství pohlčeného záření závisí na vlastnostech tělesa, na barvě (černá tělesa pohltní víc záření než bílá) a na povrchové úpravě (od lesklých těles se záření odráží, matná tělesa na druhé straně pohlcují záření).

Absolutně černé těleso je myšlené ideální těleso, které pohlcuje veškeré záření všech vlnových délek dopadajících na jeho povrch. Do praxe ho zavedl německý fyzik Gustav Kirchhoff v roce 1862 Kirchhoffovým zákonem, který říká, že těleso schopné pohlcovat (absorbovat) veškeré na něj dopadající záření, je schopné stejné množství záření vyzařovat (emitovat). Absolutně černé těleso si můžeme představit jako dutou kostku s velmi malým otvorem (Obr. 8). Jestliže záření projde malým otvorem do dutiny, jejíž vnitřní povrch je černý a matný, pak se po několika odrazech pohltní. Navenek se malý otvor jeví jako absolutně černé těleso (veškeré záření projde otvorem dovnitř, ale žádné záření nevyjde otvorem ven).



Obr. 8 Absolutně černé těleso [18]

Čím více záření černé těleso pohltí, tím více se zvětší jeho teplota. Černé těleso vyzařuje tepelné záření. Je ideálním zářičem, protože ze všech těles o stejné teplotě vysílá největší možné množství zářivé energie. Čím bude vyšší teplota, tím se bude zkracovat vlnová délka vyzařovaného záření, viz Wienův posunovací zákon.

Příkladem přibližných realizací absolutně černých těles jsou otevřená okna domů. Podobně malý otvor ve všestranně uzavřené krabici z černého papíru se zdá vždy tmavší než okolní stěna.

Dokonale černé těleso maximálně vyzařuje i maximálně pohlcuje záření. Intenzita vyzařování a pohltivosti jsou si úměrné dle Kirchhoffova zákona. Je-li teplota tělesa větší než teplota okolí, převažuje intenzita vyzařování nad pohltivostí. Intenzita vyzařování dokonale černého tělesa závisí jen na jeho absolutní teplotě T [K].

Zákony popisující vyzařování černého tělesa:

- a) Wienův zákon posuvu
- b) Stefanův-Boltzmanův zákon
- c) Planckův zákon

Planckův zákon

Max Planck popsal intenzitu spektrálního vyzařování pomocí následujícího vzorce:

$$M_{\lambda b} = \frac{2\pi hc^3}{\lambda^5 \left(e^{\frac{hc}{k\lambda T}} - 1 \right)} * 10^{-6}, \quad (23)$$

kde $M_{\lambda b}$ je spektrální hustota intenzity vyzařování černého tělesa při vlnové délce λ [Watt/m²μm],

c je rychlost světla ve vakuu ($2,997 * 10^8$ m/s),

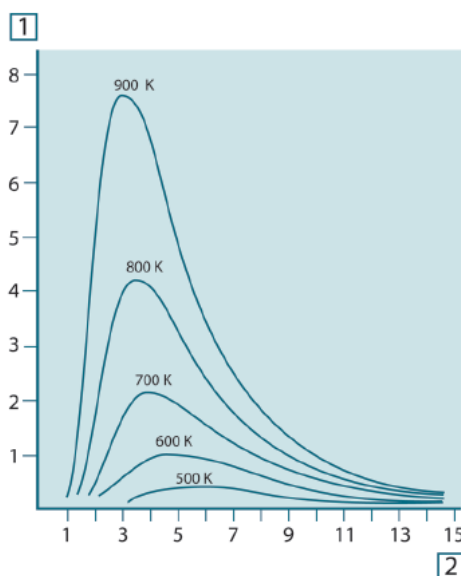
h je planckova konstanta ($(6,6265 \pm 0,0005) * 10^{-34}$ Js),

k je boltzmannova konstanta ($1,4 * 10^{-23}$ J/K),

T je absolutní teplota absolutně černého tělesa [K]

a λ je vlnová délka [μm].

Znázorníme-li Planckův zákon graficky, dostaneme soustavu křivek. Se zvyšující se vlnovou délkou křivka prudce stoupá, až dosáhne maxima. Pak se začne při velkých hodnotách vlnových délek přibližovat k nule. Čím je teplota tělesa vyšší, tím je kratší vlnová délka, při které dojde k dosažení maxima (Obr. 9).



Obr. 9 Intenzita spektrálního vyzařování černého tělesa při různých teplotách znázorněné na základě Planckova zákona. 1: Spektrální hustota intenzity vyzařování [W/cm²*10³ μm]; 2: vlnová délka [μm] [16]

Jestliže se zvyšuje teplota, zvyšuje se celkové množství vyzařované energie a vrchol křivky se posouvá doleva, ke kratším vlnovým délkám. Tělesa s velmi vysokou teplotou vyzařují energii ve viditelném spektru, protože se snižuje vlnová délka záření.

Wienův zákon posuvu

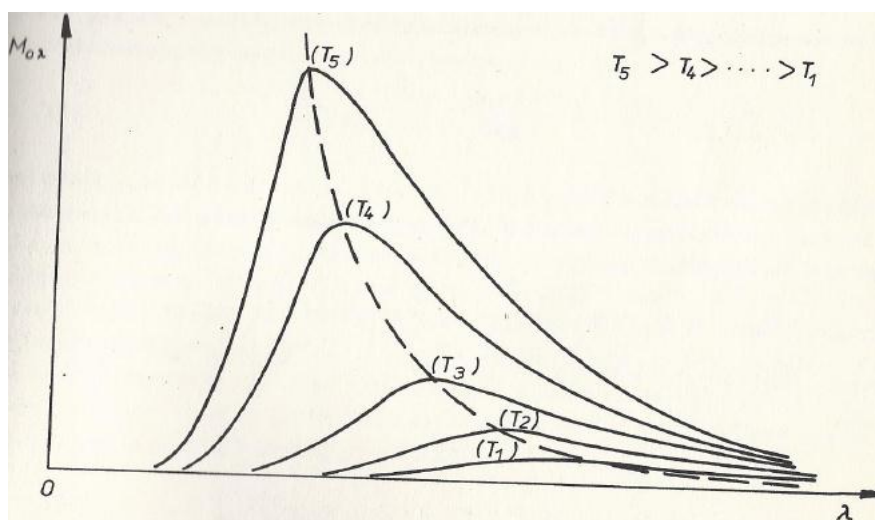
$$\lambda_{max} * T = b, \quad (24)$$

kde λ_{max} značí vlnovou délku, na kterou připadá maximum vyzařování [μm],

T je absolutní teplota tělesa [K]

a b je Wienova konstanta $((2,8978 \pm 0,0004) * 10^{-3} \text{ m/K})$.

Vlnová délka odpovídající maximální spektrální hustotě intenzity vyzařování je nepřímo úměrná teplotě. S rostoucí teplotou se vlnová délka posouvá ke kratším vlnovým délkám (Obr. 10). Zahřívání tělesa vysílají při nižších teplotách pouze infračervené záření, které při teplotě 525°C přechází do tmavorudé barvy. Se stoupající teplotou se mění barva žhavého tělesa od červené přes žlutou až do bílé. Černé těleso vždy vyzařuje na všech vlnových délkách, mění se pouze intenzita záření.



Obr. 10 Vyzařovací křivky černého tělesa (čárkovaná čára je grafickým znázorněním Wienova zákona posuvu). [2]

Stefan-Boltzmannův zákon

Výsledný vyzařovaný výkon černého tělesa je úměrný čtvrté mocnině jeho absolutní teploty. Graficky je výkon znázorněn plochou pod křivkou vytvořenou podle Planckova zákona pro určitou teplotu.

$$W_b = \sigma * T^4, \quad (25)$$

kde W_b je výsledný vyzařovaný výkon černého tělesa [Watt/m²],

σ je Stefan-Boltzmanova konstanta ($5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$)

a T je termodynamická teplota [K].

Má-li předmět teplotu T a okolní prostředí teplotu T_0 , vyzáří každý čtvereční metr povrchu předmětu za jednu sekundu energii úměrnou $\sigma \cdot T^4$ a přijme od okolí energii úměrnou σT_0^4 .

Pro šedý zářič je pak Stefan-Boltzmannův vztah:

$$W = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4, \quad (26)$$

Při stejných teplotách šedého zářiče a černého tělesa je výsledná energie vyzařovaná šedým zářičem, v porovnání s vyzařovanou energií černého tělesa, menší úměrně k hodnotě emisivity z šedého tělesa.

Kirchhoffův zákon

$$\alpha_v = \varepsilon_v, \quad (27)$$

Spektrální pohltivost α_v povrchu libovolné látky se rovná jeho spektrální emisivitě ε_v (povrchy těles, které dobře pohlcují záření, jsou i dobrými zářiči). Tělesa, která jsou za dané teploty intenzivnějšími zářiči, současně za dané teploty také více pohlcují na ně dopadající záření.

Kirchhoffův zákon udává poměr sálavosti k pohltivosti tělesa. Poměr sálavosti k pohltivosti je stejný pro všechny tělesa. Při téže absolutní teplotě se rovná sálavosti dokonale černého tělesa a závisí pouze na teplotě.

[2, 8, 9, 15, 20, 21, 22, 23]

2.5 NEČERNÉ ZÁŘIČE

Skutečné těleso vyzařuje i pohlcuje méně než černé těleso. Jeho spektrální hustota intenzity vyzařování H_λ je

$$H_{\lambda} = \varepsilon_{\lambda} * H_{0\lambda}, \quad (28)$$

kde H_{λ} je hustota intenzity vyzařování [W/m^3],

ε_{λ} je emisivita, respektive pohltivost pro vlnovou délku λ [1]

a $H_{0\lambda}$ je spektrální hustota intenzity vyzařování [W/m^3].

Mezi intenzitou vyzařování tělesa M_e a pohltivostí (poměr energie tělesem pohlcené k energii dopadající na těleso) je určitý vztah. Jestliže je v obalu, udržovaném na určité stálé teplotě T , umístěno několik různých těles, které si předávají energii s obalem i mezi sebou pouze vyzařováním, nastane po určité době tepelná rovnováha. Těleso, které má větší intenzitu vyzařování, více září, také více pohlcuje.

Reálné objekty (tělesa) respektive jejich záření se neřídí v delších rozmezích vlnových délek stejnými zákony, které platí pro černé těleso. Existují tři složky záření, které mohou odlišovat reálný objekt od černého tělesa: část dopadajícího záření α může být pohlcována, část záření ρ může být odražena a část τ může tělesem prostupovat. Tyto složky jsou závislé na vlnové délce a k jejich vyjádření se používá spektrální zářivost λ .

Spektrální pohltivost α_{λ} = poměr energie pohlcené spektrálním zářičem a celkovým tokem. Absorptivita materiálu je vyjádřena podílem absorbovaného záření z celkového dopadajícího záření.

Spektrální odrazivost ρ_{λ} = poměr energie odražené spektrálním zářičem a celkovým tokem. Reflektivita (odrazivost) povrchu je určena touto částí dopadajícího záření, kterou povrch odráží.

Spektrální propustnost τ_{λ} = poměr energie propuštěné spektrálním zářičem a celkovým tokem. Transmisivita je množství záření, které povrchem prochází.

Celkový součet energií absorbované odražené a procházející musí být roven celkovému množství záření dopadajícího na daný povrch (je roven 1).

$$\alpha_{\lambda} + \rho_{\lambda} + \tau_{\lambda} = 1, \quad (29)$$

Pro neprůhledné prostředí je hodnota transmise rovna 0. Proto pro absorpci a reflexi platí

$$\rho + \alpha = 1, \quad (30)$$

K popisu poměru ε záření vyzařovaného objektem a záření, které by vyzařovalo černé těleso při stejné teplotě, se používá **emisivita** ε .

[20, 21, 23]

2.5.1 EMISIVITA

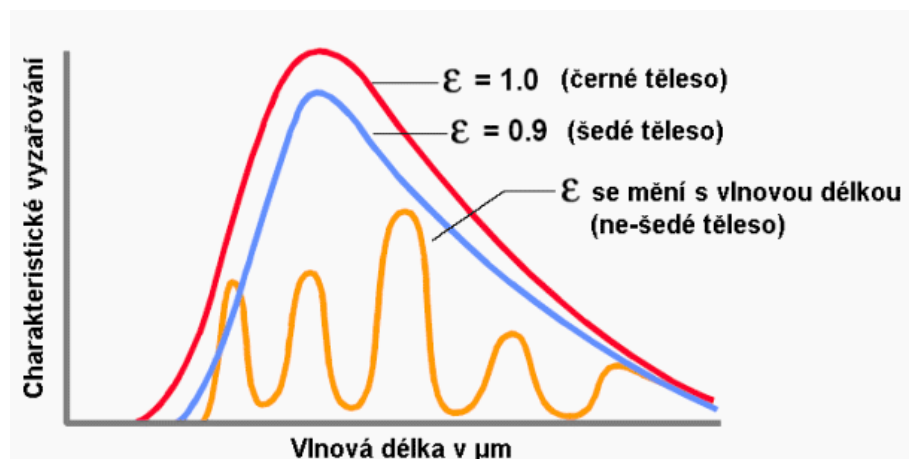
Emisivita je definována jako poměr energie vyzařované objektem při dané teplotě k energii ideálně černého tělesa při stejné teplotě. Emisivita je mírou schopnosti daného předmětu vyzařovat infračervenou energii, která nese informaci o jeho teplotě. Může nabývat hodnot od nuly do jedné. **Emisivita černého tělesa je rovna 1.** Povrchy běžných těles mají emisivitu menší než jedna. Většinou se emisivita běžných těles pohybuje kolem 0,9. Výjimku tvoří čisté kovové povrchy, jejichž emisivita se pohybuje kolem 0,1. Objekt s emisivitou 0,6 vyzařuje jen 60 % energie ve srovnání s absolutně černým tělesem.

Emisivita je důležitým faktorem infračervené termometrie. Závisí na úhlu vyzařování (pod každým úhlem je jiná), teplotě materiálu, úpravě povrchu, vlnové délce emitované energie ...

Ve vztahu k emisivitě ε , respektive spektrální emisivitě ε_{λ} , je i odrazivost (reflektance) ρ, ρ_{λ} , což je míra schopnosti odrážet záření a propustnost (transmitance) τ, τ_{λ} , jako míra schopnosti propustit záření. Platí:

$$\varepsilon + \rho + \tau = 1, \quad (31)$$

Je-li objekt ve stavu tepelné rovnováhy, vyzařovaná energie musí být rovna energii pohlcované, takže emisivita se rovná pohltivosti (absorptivita) α .



Obr. 11 Charakteristické vyzařování při různých emisivitách [9]

Spektrální emisivita ε_λ je poměr mezi energií spektrálního zářiče objektu a energií černého tělesa při stejné teplotě a vlnové délce. Existují tři typy zdrojů záření, které se odlišují podle způsobů, jak se mění spektrální vyzařování v závislosti na vlnové délce:

- černé těleso, pro které platí $\varepsilon_\lambda = \varepsilon = 1$,
- šedé těleso, pro které platí $\varepsilon_\lambda = \varepsilon = \text{konstanta}$, která je menší než 1. Jde o látky, jejichž emisivitu lze považovat za konstantní ve značném rozsahu vlnových délek,
- selektivní zářič, jehož emisivita ε závisí na vlnové délce. Jde o látky, které mají pro různou vlnovou délku různou emisivitu. Tyto látky vykazují velké odchylky od záření černého tělesa.

Dle **Kirchhoffova zákona** platí pro každý materiál, že spektrální vyzařování a spektrální pohltivost se sobě rovnají a to při jakékoli teplotě a vlnové délce. Povrchy těles, jež dobře pohlcují záření, jsou i dobrými zářiči.

Pro nepropustné materiály platí tedy:

$$\varepsilon_\lambda + \rho_\lambda = 1, \quad (32)$$

U vysoce lesklých materiálů se spektrální emisivita blíží k nule, takže pro dokonale vyleštěný materiál s vysokou odrazivostí platí:

$$\rho_\lambda = 1, \quad (33)$$

[9, 21, 23]

2.5.1.1 URČOVÁNÍ NEZNÁMÉ HODNOTY EMISIVITY POVRCHU MATERIÁLU

Při bezdotykovém měření teploty patří k nejčastějším nejistotám měření nepřesné nastavení emisivity měřeného povrchu materiálu. Zjistit emisivitu předmětu lze více metodami:

- a) vyhledání emisivity v tabulkách vlastností materiálu,
- b) zahřátí měřeného vzorku na známou teplotu,
- c) použití dodatečného materiálu nebo speciálního nátěru,
- d) kombinace dalších metod měření povrchové teploty.

Vyhledání emisivity v tabulkách vlastností materiálu

Hodnoty emisivit některých materiálů lze vyhledat v tabulkách. Tabulky udávají hodnoty emisivit ideálních povrchů a nepočítají s korozí, oxidací, nebo nerovnostmi povrchu. Ty mohou být součástí dokumentace termovizních kamer, pyrometrů nebo se dají vyhledat na internetu. Takto určená emisivita je orientační, protože skutečnou emisivitu povrchu může ovlivnit řada dalších skutečností (například jakým způsobem byl materiál povrchově upravován, jakým způsobem byl obráběn, ...).

Zahřátí měřeného vzorku na známou teplotu

Pokud se zahřeje měřené těleso nebo jeho vzorek na předem známou teplotu, lze poté v termovizní kameře měnit hodnotu emisivity, dokud naměřená teplota neodpovídá teplotě, na kterou byl předmět zahřátý. Předmět by neměl být vyroben z dobře vodivého materiálu, jinak může dojít k ochlazení povrchu během doby, kdy je kamera nastavována.

Použití dodatečného materiálu nebo speciálního nátěru

Při relativně nízkých teplotách (do 250 °C) lze nalepit na měřený objekt speciální černou pásku o známé emisivitě. Termovizní kamerou s nastavenou známou emisivitou se poté změří teplota pásky a následně se nastaví emisivita povrchu měřeného objektu tak, aby změřená teplota odpovídala teplotě pásky. Povrch materiálu lze nastříkat černým sprejem nebo natřít speciální černou barvou o známé emisivitě.

Kombinace dalších metod měření povrchové teploty

Nejpoužívanější metoda určování emisivity v provozních podmínkách je založena na současném měření teploty povrchu měřeného materiálu termočlánkem a termovizní kamerou. Teplota měřená kamerou se korekcí emisivity nastaví tak, aby se rovnala teplotě měřené kontaktním teploměrem. Tato metoda v praxi často představuje jedinou možnost správného nastavení a objektivizace měření, protože postihuje skutečně reálnou situaci při měření. Termočlánek musí mít s měřeným povrchem dobrý kontakt, aby byl schopen dostatečně rychle reagovat na změny měřené teploty a neodváděl z měřeného povrchu teplo.

[9]

3 BEZDOTYKOVÉ MĚŘENÍ TEPLITY

Veškerá hmota – živá nebo neživá, tekutiny, pevné látky, plyny, si trvale vyměňují se svým okolím tepelnou energii ve formě elektromagnetické radiace. Pokud je mezi daným objektem a jeho okolím teplotní rozdíl, bude se energie přenášet ve formě tepla, chladnější objekt se bude ohřívat na úkor svého okolí, teplejší objekt se bude ochlazovat. Pokud má daný objekt stejnou teplotu jako jeho okolí, celková výměna energie radiací bude nulová. Charakteristické spektrum radiace závisí na absolutních teplotách objektu a jeho okolí. Pokud má objekt konstantní teplotu, potom musí být výkon emitovaného záření stejný jako výkon záření absorbovaného. V opačném případě se objekt ochlazuje (vyzařování je větší než absorpce) nebo zahřívá (absorpce je větší než vyzařování). Pro tělesa s konstantní teplotou platí, že absorpce, odraz a propuštění záření jsou v rovnováze. Těžištěm teorie radiační termometrie je koncepce absolutně černého tělesa. Absolutně černé těleso nejenom pohlcuje veškeré dopadající záření, ale je také dokonale vyzařujícím tělesem. Teplotu těles, jež jsou nedosažitelně daleko a teplotu vysoce zahřátých těles lze měřit jen na základě jejich tepelného a světelného záření a to pomocí pyrometrů, nebo termovizních systémů. Rozdělení teploměrů a jejich měřicí rozsahy jsou uvedeny v příloze č. 6.

Princip bezdotykového měření teplot spočívá v měření povrchové teploty těles. Každé těleso o teplotě nad absolutní nulou vysílá infračervené (charakteristické) záření,

odpovídající jeho teplotě. Jeho příčinou je vnitřní pohyb molekul, který představuje přemísťování náboje. Vzniká tady elektromagnetické záření. Intenzita pohybu závisí na teplotě objektu.

Bezdotykovým měřením teploty lze změřit velmi rychlé změny teplot, lze měřit předměty, které jsou v pohybu, měřicí technika má zanedbatelný vliv na měřený objekt. Také lze měřit a dále digitálně zpracovávat teploty celých povrchů těles. Měření je relativně jednoduché. Na druhou stranu má bezdotykové měření také řadu nevýhod. Nejistoty měření způsobuje například nesprávně nastavená emisivita materiálu nebo nepřesné nastavení odraženého záření.

Bezdotykové teploměry se rozdělují na přímo měřící (pyrometry) a zobrazovací (fotografické a termovizní systémy). Termovizní systémy se rozdělují dle rozkladu obrazu a podle detektoru záření.

[9, 19, 23]

3.1 PYROMETR

Pyrometr byl vynalezen Pietrem van Muschenbroeckem. K měření teploty využívá pyrometr tepelného záření v různých oblastech spektra. Měří se jím převážně teploty v rozsahu $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $+300\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Původně byl termín pyrometr užíván k pojmenování přístrojů, které měřily teplotu objektů, které vyzařovaly viditelné záření. V dnešní době patří mezi pyrometry všechny bezkontaktní přístroje, které zachycují a měří termální radiaci emitovanou zkoumaným objektem, s cílem zjistit teplotu zkoumaného povrchu. Tyto přístroje měří záření na dálku, není třeba přímého kontaktu přístroje s měřeným objektem. Pyrometr je jedním z typů termometru. V literatuře se můžeme setkat s názvem radiační termometr. Pyrometry měří energii vyzařovanou objektem na vlnových délkách $0,7 - 20\text{ }\mu\text{m}$.

Radiační termometr (pyrometr) se skládá z optické soustavy a z detektoru. Zkoumaný objekt vyzařuje energii, kterou optický systém soustřeďuje do detektoru, který je citlivý na radiaci. Pyrometry jsou vhodné k měření teploty pohybujících se objektů nebo povrchů, které nejsou přístupné, nebo se jich nelze dotknout. Nevýhodou přístrojů je, že jsou drahé a vyžadují pravidelnou údržbu.

Rozdělení pyrometrů:

- širokopásmové pyrometry - širokopásmové pyrometry jsou nejjednodušší, nejlevnější a pracují s vlnovými délkami od $0,3\mu\text{m}$ do $2,5\mu\text{m}$. Teploměr měří podstatnou část tepelného záření vyzařovaného objektem v běžném teplotním rozmezí.
- úzkopásmové (monochromatické) pyrometry - úzkopásmové pyrometry pracují s úzkým pásmem vlnových délek. Teploměr obvykle používá pásmo menší než $1\mu\text{m}$. Úzkopásmové teploměry pro krátké vlnové délky se používají k měření vysokých teplot nad $500\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- poměrové (dvoubarevné) pyrometry - poměrové pyrometry měří energii vyzařovanou objektem na dvou úzkých pásmech vlnových délek a vypočítávají poměr těchto energií, který je funkcí teploty objektu. Tyto teploměry analyzují emisivitu povrchu měřeného objektu v závislosti na vlnové délce, teplotě a chemickém složení povrchu. Teploměry pokrývají široké rozmezí teplot od $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $3000\text{ }^{\circ}\text{C}$, nebo od $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $3700\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- optické pyrometry - optické pyrometry měří záření v úzkém pásmu vlnových délek tepelného záření. Pyrometry měří energii na vlnových délkách přesahujících infračervenou oblast.
- radiační pyrometry - termální detektory jsou nejčastěji používanými mezi radiačními pyrometry. Jsou ovlivňovány změnami okolní teploty

Rozdělení není jednoznačně dané. Některé druhy pyrometrů se mohou považovat za podskupinu jiných pyrometrů.

[9, 23]

3.2 FOTOGRAFICKÉ MĚŘENÍ TEPLOT

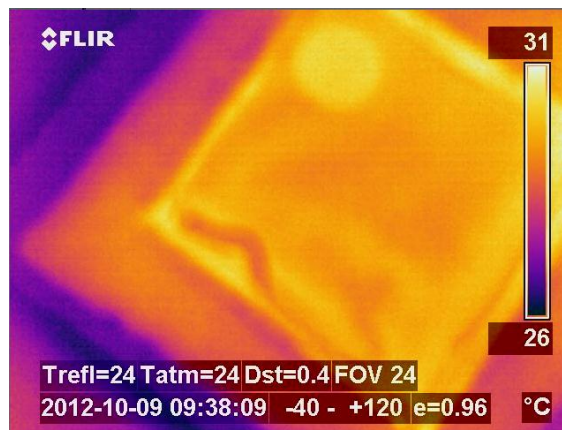
Fototermometrie umožňuje proměřovat teplotní pole na povrchu předmětů, jejichž teplota se značně mění. Využívá se fotografického materiálu citlivého na infračervené záření. Pro vyhodnocení snímku je nutno vyfotografovat tzv. teplotní měřítko se známým rozložením teploty. Teplotní měřítko je složeno z řady destiček,

kteře jsou vyhřáté na různou teplotu, určovanou termoelektrickými články. Rozsah měření teploty je od $+250^{\circ}\text{C}$ do 1000°C . Přesnost měření je ovlivněna rozdílností emisivity teplotního měřítka a měřeného povrchu.

[19]

3.3 TERMOVIZNÍ SYSTÉMY

Termovizní systémy využívají infračerveného záření povrchů vyšetřovaných těles. Jsou rychlé a umožňují přímé sledování změn povrchových teplot. Rozložení teploty na měřeném povrchu je na obrazovce zobrazeno termogramem (Obr. 12). Základním funkčním prvkem termovize je detektor infračerveného záření. V dnešní době se používá kvantových detektorů a bolometrů.



Obr. 12 Snímek s termovizní kamery, rozložení teploty na měřeném povrchu

Kvantové detektory při dopadu infračerveného záření zvyšují svoji elektrickou vodivost. Jsou selektivní a vyžadují chlazení na nízkou teplotu. Bolometrické detektory při dopadu infračerveného záření se ohřívají a mění se jejich elektrický odpor. Jsou neselektivní a nevyžadují chlazení. Pracují při běžné teplotě.

Termovize snímá v určitém úhlu a z určité vzdálenosti emitované tepelné záření o vlnové délce dané vlastnostmi zařízení a tento tepelný tok vizualizuje do určeného barevného spektra. Množství tepelného záření emitovaného tělesem je závislé na emisivitě povrchu, na úhlu snímání, na snímané vlnové délce, na teplotě povrchu. Důležitou roli také hraje teplota okolí, vzdálenost od měřeného objektu i teplota okolních předmětů. Termovizní kamera převádí nasnímané tepelné záření do různých palet barev, nebo stupni šedi. Existují dva základní typy termovizních systému. Jsou to systémy s *opticko-mechanickým rozkladem obrazu* (skenovací systémy) a *systémy s maticovým detektorem*.

Kamery s opticko-mechanickým rozkladem obrazu postupně snímají (skenují) celé zorné pole po řádcích nebo sloupcích pomocí rychle se pohybující optické soustavy. Tyto kamery se využívají hlavně ve vojenských aplikacích. Pracují s kvantovým detektorem.

Kamery s maticovým detektorem (FPA) využívají velké matice malých separátních detektorů (například mikrobolometrů, nebo kvantových detektorů). Detektory jsou podobné CCD snímačům používaným v klasických kamerách.

Termovizní systémy jsou složeny z tří modulů:

Modul optiky – zaměřuje záření na infračervený detektor, případně provádí optický rozklad. Obsahuje referenci teploty.

Modul detektoru – převádí záření na elektrický signál.

Elektronika a software – převádí analogový signál detektoru na digitální, převádí signál na teplotu, vytváří obraz a umožňuje jeho zpracování.

. Při zpracování termogramu lze ovlivnit vnímání pozorovatele nastavením různého teplotního rozlišení termogramu.

Kvalita měření je závislá na emisivitě, úhlu snímání, vlnové délce, teplotě okolí, vzdálenosti od měřeného objektu, teplotě okolních předmětů, teplotě měřeného objektu, teplotním gradientu, přestupu tepla, rozlišení termovize, rozsahu teplot na termogramu, tepelné vodivosti měřeného objektu, proudění vzduchu. Všechny tyto parametry mohou ovlivnit kvalitu měření.

[9, 19]

3.3.1 SENZOR TEPLOTY

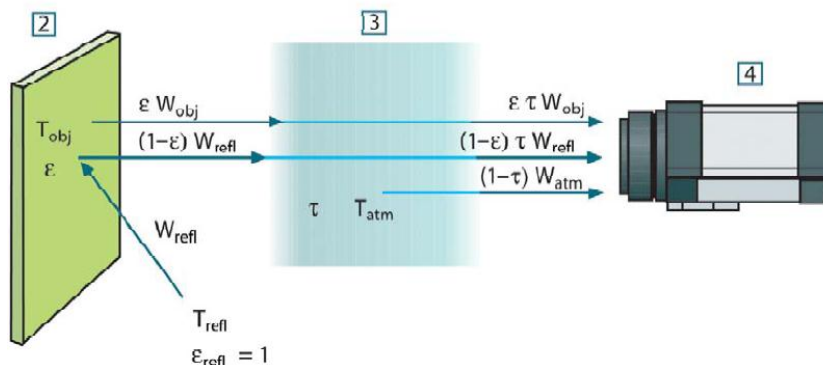
Senzor teploty je funkční prvek tvořící vstupní blok měřicího řetězce. Jde o blok, který je v přímém kontaktu s měřeným prostředím. **Senzor teploty** = **snímač teploty** (samostatná konstrukční součást teploměrového zařízení, která obsahuje teplotní čidlo) = **čidlo teploty** (část snímače převádějící teplotu na jinou fyzikální veličinu). Jako senzor se také označuje detektor teplotního zařízení nebo teploměr. Dle transformace

signálu se senzory dělí na aktivní a pasivní. Aktivní se působením teploty chovají jako zdroj elektrické energie (termoelektrické články). U pasivních senzorů je nutné elektrické napájení pro transformaci teploty na jinou fyzikální veličinu. Měření teploty je nepřímým měřením. Dle styku s měřeným prostředím se senzory teploty dělí na dotykové a bezdotykové.

[9]

3.3.2 TEORIE PRAKTICKÉHO MĚŘENÍ

Při měření termovizní kamerou nejsme schopni vyloučit vliv záření okolních objektů, ani záření odražené z povrchu tělesa. Obě záření jsou do jisté míry zeslabována atmosférou mezi měřicí cestou. Obr. 13 nastiňuje schéma praktického měření.



Obr. 13 Schematický náčrt termografické měřicí situace, kde 1 je okolí, 2 je objekt, 3 atmosféra a 4 je kamera [20]

Za předpokladu, že přijatý výkon záření W z černého zdroje s určitou teplotou na krátkou vzdálenost vygeneruje na kameře výstupní signál U_{zdroj} , který je vůči vstupní energii lineární můžeme psát

$$U_{zdroj} = CW(T_{zdroj}), \quad (34)$$

kde C je konstanta.

U šedého tělesa s emisivitou ϵ bude přijaté záření ϵW_{zdroj}

Složky přijatého záření jsou:

1 – *emise (vyzařování) z objektu* = $\varepsilon\tau W_{obj}$, kde ε je emitance (emisivita) z objektu, τ je propustnost atmosféry a teplota objektu je T_{obj} .

2 – *odražené záření z okolních zdrojů* = $(1 - \varepsilon)\tau W_{refl}$, kde $(1 - \varepsilon)$ je odrazivost objektu a okolní zdroje mají teplotu T_{refl} .

3 – *emise (vyzařování) z atmosféry* = $(1 - \tau)\tau W_{atm}$, kde $(1 - \tau)$ je emitance z atmosféry a teplota atmosféry je T_{atm} .

Energie přijatého záření je pak:

$$W_{tot} = \varepsilon\tau W_{obj} + (1 - \varepsilon)\tau W_{refl} + (1 - \tau)\tau W_{atm}, \quad (35)$$

nebo po úpravě

$$U_{obj} = \frac{1}{\varepsilon\tau} U_{tot} - \frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon} U_{refl} - \frac{1 - \tau}{\varepsilon\tau} U_{atm}, \quad (36)$$

kde U_{obj} je výsledné napětí na výstupu kamery pro teplotu T_{obj} absolutně černého tělesa,

U_{tot} je naměřené napětí na výstupu pro skutečný případ

a U_{atm} je teoretické výstupní napětí odpovídající teplotě T_{atm} černého tělesa dle kalibrace.

[20]

3.3.3 MĚŘENÍ POVRCHOVÉ TEPLOTY TERMIVIZNÍ KAMEROU PODLE NORMY

Bezkontaktním měřením teploty pomocí termovizní kamery se zabývá norma ČSN ISO 18434 – 1. Jejím úkolem je uvést čitatele do aplikací IČT pro účely monitorování stavu a diagnostiky strojů i jejich příslušenství. Norma je určena pro

zavedení terminologie IČT, týkající se monitorování stavu strojů a jejich diagnostiky. Také popisuje typické postupy IČT a jejich účel, poskytuje pokyny pro zavedení a stanovení míry závažnosti kritérií odchylek zjištěných pomocí IČT. Dále nabízí přehled metod a požadavků na provádění termodiagnostiky strojů, včetně bezpečnostních doporučení. Norma také poskytuje informace pro vyhodnocení dat, stanovuje kritéria a požadavky na výstupní zprávy a poskytuje postupy pro stanovení a kompenzaci odražené zdánlivé teploty, emisivity a útlumu při přenosu. Norma také zahrnuje zkušební postupy pro stanovení odražené zdánlivé teploty, emisivity a útlumu prostředí při měření povrchové teploty objektu s použitím kvantifikující termografické kamery. Základní termíny a definice jsou uvedeny v příloze č. 7.

TERMOGRAFICKÉ TECHNIKY

Bezkontaktní měření teplot pomocí infračervených termografických kamer se používá, když je nutné znát co nejpřesnější skutečnou teplotu objektu. Stanovení správných absolutních teplot na objektu pomocí IČT je obtížné. Na konečný výsledek měření má vliv množství parametrů jak vlastního měřicího zařízení, tak i okolních činitelů. Většinou se měření provádí v kontrolovaných (laboratorních) podmínkách. Při monitorování stavu strojů se však stanovení absolutní teploty objektu pomocí IČT nepoužívá.

Z důvodu diagnostického porovnání se doporučuje, aby u důležitých zařízení podniku byla provedena základní měření komparativním i absolutním měřením hodnot. Tento postup monitorování je vhodný pro včasnou identifikaci poruch.

Před zahájením práce se mají stanovit minimální pravidla bezpečnosti ve shodě s platnými normami a předpisy. Všichni pracovníci, kteří provádějí termografická měření, musí používat kalibrované IČT kamery dle pokynů výrobce nebo zavedené průmyslové praxe. Rychlá kontrola kalibrace se doporučuje před provedením každého měření či kontroly. Měření a shromažďování dat by se mělo provádět za předem daných podmínek.

Při měřeních prováděných v terénu je nutné stanovit správné hodnoty odražené zdánlivé teploty a emisivity, aby byly změřeny správné absolutní teploty. Měření má být provedeno v souladu s normou, provozními předpisy a příručkami.

Používáme-li IČT pro diagnostiku a monitorování stavů strojů a jejich částí, je doporučeno stanovit kritéria závažnosti poruchy. Tato kritéria mohou být dvojího druhu:

- sestavená do základních kategorií, kdy jsou zjišťovány úrovně vyhodnocených (změřených) teplot a porovnávány s úrovněmi, které byly stanoveny jako kritické
- použitá pro specifické stroje a součásti nebo pro jejich skupinu.

KOMPARATIVNÍ – SROVNÁVACÍ TERMOGRAFIE

Srovnávací termografie je dle normy: *Monitorování stavu a diagnostika strojů – Termovize* (24) nejvíce používanou technikou a používá se pro získání dat. Při zaznamenávání změn a užitečných informací při monitorování stavu a diagnostice strojů, je důležitá schopnost správně stanovit emisivitu. Komparativní termografie může být **kvantitativní** nebo **kvalitativní**. Zatímco kvalitativním měřením lze zjišťovat přítomnost závady, pouze kvantitativním měřením je možné určit jejich závažnost. Technika srovnávacího měření spočívá v rychlém odhadu emisivity, odražené zdánlivé teploty a pracovní vzdálenosti. Hodnoty emisivit vycházejí většinou ze zkušeností z již provedeného měření.

Kvantitativní technika (metoda) vyžaduje určení hodnot teplot, které jsou použity pro určení závažnosti stavu objektů (součástí). Tyto hodnoty jsou stanoveny porovnáním teplot objektu s podobným objektem či zařízením nebo se základními daty.

Srovnávací kvantitativní termografie je efektivní metoda pro hodnocení stavů strojů nebo jejich částí určením přibližných teplot. Příkladem této metody může být provoz dvou nebo více strojů za stejných podmínek a provozních stavů (zatížení), kdy jeden ze strojů dosahuje zvýšené teploty. Při stanovení závažnosti případné závady může pomoci zjištění rozdílných teplot. Závažnost je malá, když odchylka teplot je malá. Při větší odchylce teplot stoupá i závažnost případné závady. Tento typ měření je velmi efektivní při kontrole velkého počtu dílů a přináší informace o určení závažnosti stavu sledovaného objektu.

Před vlastním měřením je vhodné určit emisivity nejpoužívanějších materiálů, se kterými se lze v podniku setkat. Tyto hodnoty se pak používají při kontrole dílů z daných materiálů.

Srovnávací kvalitativní termografie porovnává teplotní snímky (termogramy) nebo tepelné profily jednoho dílu se stejným nebo podobným dílem za stejných nebo podobných podmínek. Při srovnávání je vyhodnocována intenzita změn mezi dvěma nebo více podobnými objekty bez přiřazování hodnot teploty ke snímku.

Technika měření se používá ve většině průmyslových odvětví pro identifikaci míst s vyšší či vysokou teplotou strojů, míst v elektrických rozvodech, netěsnosti nebo sníženou průchodností tepelných výměníků a trubek a pro identifikaci úniku kapalin z tlakových nádob, trubek nebo ventilů.

KRITÉRIA PRO STANOVENÍ ZÁVAŽNOSTI TEPLoty

Používáme-li IČT pro diagnostiku a monitorování stavů strojů a jejich částí, doporučuje se stanovit kritéria závažnosti, které mohou být:

- a) sestavená do základních kategorií, kdy jsou zjišťovány úrovně vyhodnocených (změřených) teplot nebo oblastí a porovnávány s úrovněmi, které byly stanovené jako kritické
- b) použitá pro specifické stroje a součásti nebo pro jejich skupinu.

Kritéria mohou být vytvořena pro jednotlivé stroje nebo díly. Metoda zahrnuje bezpečnost obsluhy, zvýšení (rychlost zvýšení) teploty, důležitost stroje nebo jeho dílů, podmínky okolního prostředí, Aplikace mohou sledovat zvýšení teploty důležitých strojů, mechanických částí, zvýšení teplot ložisek, ztráty kapalin způsobené netěsnostmi, kontrola výměníků.

Kritérium rozdílu teplot – stanovení kritérií se má provádět na základě dříve získaných nebo statisticky odvozených teplot sestavených z měření specifických zařízení provozovaných za „ideálních“ podmínek.

Kritérium maximálně dovolených teplot – termodiagnostik může používat toto kritérium, když bylo stanoveno na základě získaných údajů určených pro rozpoznání

změn v mechanických systémech. Udává se materiálové a konstrukční kritérium. Materiálové kritéria se používají tam, kde je kontrola zaměřena na neporušenosti materiálu. Materiál je předmětem monitorování. Konstrukční kritéria se používají tam, kde je zaměřena kontrola na neporušenost konstrukce. Konstrukce je předmětem monitorování. V mnoha případech nemůžeme měřit přímo povrch součástí. Při měření v terénu musí termodiagnostik vzít do úvahy chyby způsobené šířením tepla (jeho vedením, prouděním, sáláním).

KRITÉRIUM PROFILU (TEPLOT)

Stanovení profilu teplot je proces porovnávání teplotních rozdílů a rozložení teplot povrchu objektu. Stanovují se dva klíčové stavy – „dobrý“ a „poruchový“ stav. Určení závažnosti je někde mezi těmito stavy. Nejdůležitějšími body při stanovení profilu jsou teplotní gradienty, změny v čase, absolutní teploty,

DIAGNOSTIKA A PROGNOSTIKA

Intervaly kontrol se mají nastavit na základě prognózy rychlosti postupu poškození v souvislosti s očekávanou poruchou a chováním teploty v průběhu času.

Vyhodnocení snímků (termogramů) je proces porovnávání zdánlivých teplot povrchu a profilů teplot s typickými hodnotami stanovenými pro ideální konstrukci stroje. Každý termogram je vyhodnocován jako součást série termogramů.

KVALIFIKACE PERSONÁLU A ZPRÁVA O ZKOUŠCE

Termodiagnostici musí být kvalifikováni a hodnoceni ve shodě s ISO 18436-7. Všichni termodiagnostici musí každou kontrolu zařízení doložit zprávou o zkoušce. Kromě jiného zpráva obsahuje poznámku o všech zjištěných nebezpečných podmínkách nebo provedených zásazích a zkouškách.

[24]

3.3.4 VYUŽITÍ TERMIVIZNÍ KAMERY V PRAXI

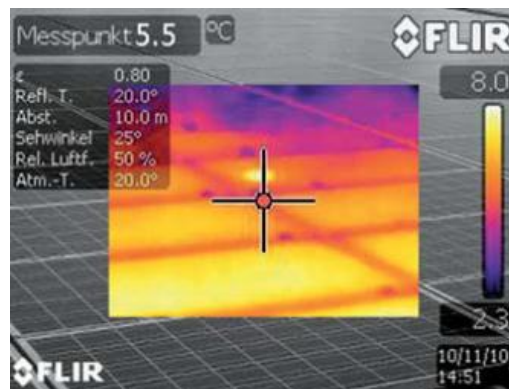
Prvním prakticky používaným teploměrem, pracujícím na principu měření infračerveného záření bylo lidské oko. I v novějších dobách, byli odborní řemeslníci při pozorování, zda má materiál správnou teplotu pro odlévání nebo dělení závislí na svých

vlastních smyslech. Zrak se používal při výrobě a zpracování oceli, při výrobě a zpracování skla, při formování vosku, při výrobě keramiky. I v dnešní době skláři rozhodují podle zraku o tom, zda je sklo připraveno pro tvarování dle barvy.

V roce 1901 byl podán první patent týkající se radiační termometrie. Přístroj používal termoelektrické čidlo, dával elektrický výstupní signál a byl schopen pracovat bez obsluhy. Infračervené teploměry mají v současné době široké použití při měření teploty v průmyslu a laboratořích. Dále najdou své použití ve sklářském, chemickém, farmaceutickém a potravinářském průmyslu, kde se produkty nesmí kontaminovat dotykovým senzorem. Průmyslově se využívají ve výrobě, kontrole kvality a údržbě a pomáhají podnikům zvýšit produktivitu, snížit spotřebu energií a zlepšit kvalitu výrobků. Bezdotykové teploměry hrají také důležitou roli ve vojenském výzkumu, v meteorologických, ekologických, lesnických, zemědělských a chemických aplikacích. Meteorologické družice požívají infračervené zobrazovací přístroje k mapování mraků a vytváření obrazů, které můžeme vidět ve zprávách o počasí. V praktické medicíně se termografie používá k včasné detekci karcinomu prsu a k lokalizaci příčin oběhových poruch. Další přístroje založené na infračervené termometrii mohou pomoci řešit zdravotní problémy od bolestí v zádech až po onemocnění dutin. Pomocí vzdušných infračervených detektorů mohou být vyhledávány lesní požáry. Umožňují přesnější vymezení okrajů požáru. Co se týče vojenských aplikací, nachází radiační termometrie upotřebení v nočním vidění a u tepelně naváděných střel. Vestavěné detektory umožňují střele lokalizovat cíl pomocí sledované tepelné stopy směřující k cíli. Kamera se také využívá například ve stavebnictví, energetice a průmyslu, lékařství, kriminalistice, archeologii, ... Termovizní technika zvyšuje spolehlivost provozovaných zařízení, dochází k nepřerušované výrobě, vede také k úspoře času a nákladů při preventivní údržbě. Mezi novinky v měření kamerou patří zjišťování provozuschopnosti fotovoltaických elektráren, které v poslední době zažili velký boom. V neposlední řadě se kamery používají v oblasti policejních či bezpečnostních složek při sledování a hledání osob v noci.

Provozeroschopnost fotovoltaických elektráren

Závadnost fotovoltaických panelů dosahuje u některých výrobců až 30 %. Včasná a přesná analýza může odhalit některé závady již v počátcích. Pravidelné kontroly elektráren snižují riziko vzniku závad. Měření panelů pomocí termovizní kamery (Obr. 14) je rychlý, jednoduchý a spolehlivý způsob jak odhalit výrobní vady, poškození při transportu, nebo chybně zapojené. Měření se provádí při plném provozu.



Obr. 14 Snímek s termokamery, provozuschopnost fotovoltaických panelů [25]

Energetika a strojírenství

Jedno z prvních použití termovizní kamery v praxi bylo dle TMVSS (25) v rozvodech elektrické energie. Na spolehlivost elektrických a také výrobních mechanických zařízení jsou kladeny stále větší nároky. Jejich pravidelnou kontrolou lze nalézt závady už v začátcích a předejít tak výrobním ztrátám nebo škodám na zařízeních. Pomocí termokamery lze snadno zobrazit rozložení povrchových teplot na měřeném objektu a odhalit tak místa, kde dochází k přehřívání. K měření teploty dochází bez kontaktu s měřeným objektem. V energetice a strojírenství se termovize využívá k měření rozvodů elektrické energie (venkovní vedení, venkovní rozvody, vnitřní rozvody, ...) a k měření elektrických strojů a zařízení (motory, generátory, ochranné a jistící prvky).

Stavebnictví

Termovizi lze ve stavebnictví použít k mnoha různým účelům, kde můžeme snímat povrchovou teplotu. Nelze ji používat jako rentgen, není možné s ní pronikat pod povrch konstrukce. Vzhledem ke stále větším nárokům na tepelnou izolaci staveb je termovizní kamera vhodným prostředkem pro kontrolu. Používá se také v složitých konstrukčních řešeních. Kamera umožňuje odhalit místa se sníženým tepelným odporem, tepelné mosty, netěsnosti okenních rámců, dveří, ... Termovize se ve stavebnictví využívá při odhalování chyb obvodových plášťů (tepelné mosty,

nedokonalé izolace, kontrola po zateplení), střešní konstrukce (detekce vlhkosti, nedostatečná izolace), anebo při odhalování chyb vnitřních částí budov (tepelné mosty, detekce vlhkosti, podlahové vytápění, kontrola vysoušení zdiva), vyhledávání netěsností komínů.

Věda a vývoj

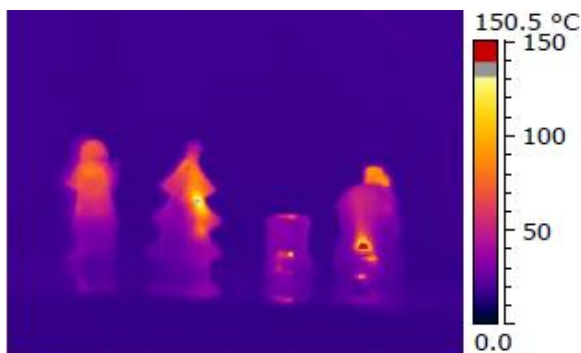
Ve vědě a vývoji výrobků nebo testovaných procesů je důležitá spolehlivost a přesnost naměřených a vyhodnocených výsledků. Infračervené kamery lze použít pro snímání teplotních polí v reálném čase s možností jejich vyhodnocení. Kamery se používají v nejrůznějších aplikacích jako je mikroelektronika, automobilový průmysl, letecký průmysl, mechanické zkoušky, ...

Využití termovizní kamery pro modelové fyzikální zkoušky požárně technických expertíz:

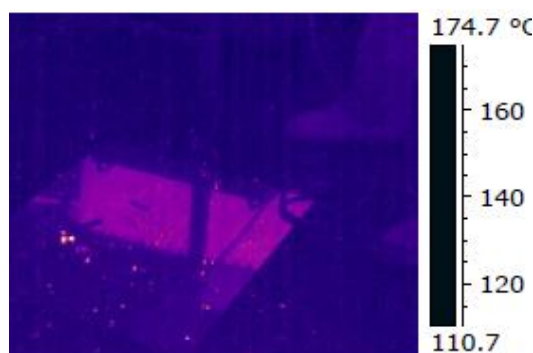
Každý reálný objekt, který má nějakou teplotu, vyzařuje ze svého povrchu energii ve formě fotonů. Množství energie, které takové těleso vyzáří, záleží na tom, jak se svými vlastnostmi blíží vlastnostem černého tělesa. Modelové zkoušky probíhají v laboratoři, takže většinu z parametrů lze získat přesně. Protože sledovaný objekt je obvykle jediný, který má výrazně vyšší teplotu než ostatní objekty v místnosti, lze teplotu odražených/sousedních objektů nastavit stejně jako teplotu okolí. Emisivita je parametr, který nejvíce ovlivňuje hodnotu teploty. Každý materiál má jinou emisivitu, ale i stejný materiál s lesklým a matným povrchem nebo různých barev může mít různou emisivitu.

Zkouška s vánočními svícní

Modelová zkouška hodnotí nebezpečí vánočních svícňů, když se do nich vloží čajová svíčka – zda mohou svícný vzplanout/vznítit se nebo se uvolňují toxické látky.



Obr. 15 Snímek z termokamery, zkouška s vánočními svícní [26]



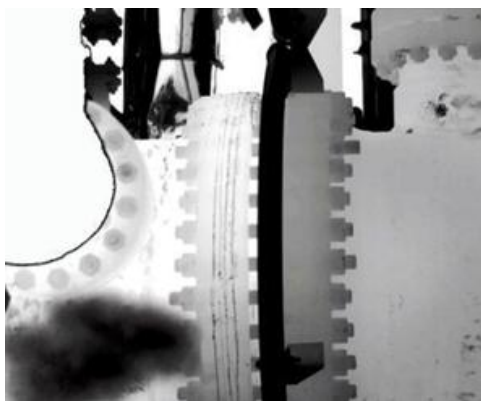
Obr. 16 Snímek z termokamery, modelová zkouška ze svařování elektrickým obloukem [26]

Modelová zkouška ze svařování elektrickým obloukem

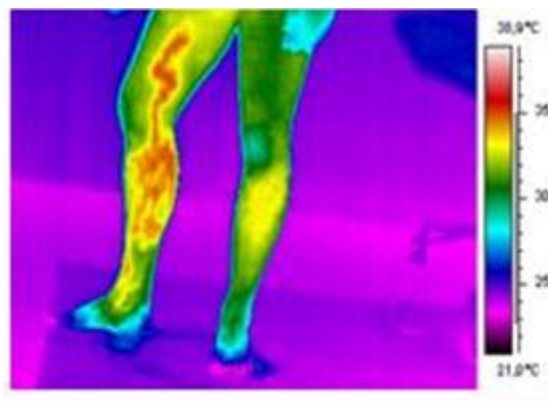
Zkouška měří teplotu odlétávajících částeczek z ocelového profilu při svařování elektrickým obloukem a rychlosti jejich chladnutí. Odlétávající částecčky je obtížné zachytit v letu. Termovizní kamera snímá místo na podlaze, kam dopadávaly. Některé částecčky se po dopadu na zem odrazí a odlétnou ze zorného úhlu kamery.

Detekce úniku plynu

Pomocí termovizní kamery FLIR Gas FindIR můžeme opticky zobrazit plyny. Lze s nimi rychle otestovat velké prostory. Využívají se hlavně v prostorech, které jsou pro kontaktní přístroj těžce dostupné. Termovizní kamera zobrazí netěsnost jako oblak páry (Obr. 17). V praxi se kamera využívá v rafinériích (možnost detekce těkavých organických látek, detekce netěsností, ...), při ochraně životního prostředí (aktuální kvalita ovzduší, bezpečné odstraňování chemikálií), plynotěsnost při těžbě ropy a plynu.



Obr. 17 Snímek z termokamery, detekce úniku plynu [25]



Obr. 18 Snímek z termokamery, využití v medicíně [25]

Medicína

Termografie je pro medicínu přesná, bezkontaktní diagnostická technika, která zkoušejícímu umožňuje zobrazit a kvantifikovat změny v povrchové teplotě na kůži pomocí výkonné infračervené kamery (Obr. 18). Kamery se využívají v oblasti klinické a veterinární medicíny.

V lékařství termogramy snímané infračervenou kamerou jsou založeny na analýze teploty povrchu kůže. Pomocí kamery lze sledovat reakce na normální, nebo abnormální lidskou fyziologii v reálném čase s jednoduchou možností dokumentace. Z hlediska závažnosti onemocnění má větší význam sledování patologických ložisek o větší teplotě, která jsou způsobená zánětlivými procesy, zvýšeným prokrvením, zvýšenou funkcí nebo zvýšeným metabolismem při nádorových onemocněních. Zvýšenou teplotou se projeví i povrchový zánět žil. Dalším oborem medicíny, kdy lze termovizi využít je onemocnění štítné žlázy, nádorové onemocnění, porodnictví, gynekologie, stomatologie, plastická chirurgie (hloubka popálenin, vývoj jizev), postižení kloubů, nebo termografické vyšetření může odhalit zánět, který se ještě neprojevil.

Automatizace

V každém průmyslovém odvětví musíme sledovat kvalitu i bezpečnost a předcházet poruchám. Termovizní kamera monitoruje (snímá i měří) průběžně výrobní proces, nebo jiný objekt 24 hodin denně, 7 dní v týdnu a změnu odhalí v zárodku. Ve většině provozních podmínek odhalí i malé teplotní rozdíly, kontroluje přítomnost kouře, mlhy, nebo páry. V automobilovém průmyslu má význam monitorování teplot pro automatické zajištění kvality, nebo monitorování průběhu výrobního procesu. Ne jenom ve výrobě je důležitá i prevence. Pod ní spadá i odhalování požárů. Další možností je i monitorování pohybu.

Letecký průmysl

Výstupní kontrola letadel – velká letadla stěžují technikům kontrolovat funkce rozličných přístrojů, jako jsou například topné články užívané k ohřevu vody, trubek a

nádrží v různých částech letadla. V dnešní době se při konečné montáži používá bezdotyková termografie ke kontrole tepelných prvků.

[23, 25, 26, 27, 28]

4 STANOVENÍ EMISIVITY TEXTILNÍCH MATERIÁLŮ

Kvalita měření termovizní kamerou je závislá na různých parametrech. Jedním z těchto parametrů je i emisivita materiálu. Aby měření nebylo zkreslené, musíme umět zadat správnou hodnotu emisivity. Tu můžeme najít pro některé materiály v tabulkách. Patří sem například hliník a různé jiné kovy, dřevo, cihla, papír, ... V tabulkách ale nenajdeme emisivitu pro textilní materiál. Pro její určení můžeme použít jednu z alternativních metod určování neznámé hodnoty emisivity povrchu materiálu.

Stanovení emisivity textilních materiálu spadá do praktické části práce. Zkouška probíhala v klimatizované místnosti za denního osvětlení vždy ve stejnou dobu (kolem 9 hodiny ranní). K měření byly použity materiály různého složení a barvy M1 – M8 (Tab. 3). Složení a barva vzorků je ukázaná v příloze č. 2. Materiál poskytla firma Jitex Comfort, s.r.o a katedra oděvnictví. Před vlastním měřením byly vzorky klimatizovány klimatizační komoře. Pak byly vzorky snímány termovizní kamerou v klimatizované místnosti ($T=21^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ a $\text{RH}=65\% \pm 4\%$). Nakonec byl obraz vyhodnocen v počítači pomocí programu Therma CAMTM Researcher. Výsledky měření byly vyhodnoceny v software MS Office Excel. V průběhu práce se musela některá měření opakovat. Protože v klimatizované místnosti již probíhala jiná práce, některá měření byla měřena v druhé místnosti s teplotou $T=24^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ a relativní vlhkostí $\text{RH}=45\% \pm 4\%$. Jednalo se o materiály M1 a M2 při teplotě T1, T3 a relativní vlhkosti RH1, materiál M6 při teplotě T3 a materiály M6,M7 a M8 při teplotě T2. Tato skutečnost byla při vyhodnocování dat zohledněná.

<i>Označení</i>	<i>Druh</i>	<i>Složení</i>	<i>Barva</i>	<i>Plošná hmotnost [g/m²]</i>
M1	osnovní pletenina	bavlna/polypropylen	červená	200
M2	osnovní pletenina	bavlna/polypropylen	modrá	200
M3	osnovní pletenina	funkční polyester	žlutá	185
M4	osnovní pletenina	funkční polyester	tmavě zelená	185
M5	osnovní pletenina	100 % polypropylen	bílá	160
M6	osnovní pletenina	100 % polypropylen	černá	160
M7	osnovní pletenina	95 % bambus, 5 % lycra	červená	230
M8	osnovní pletenina	100 % vlna merino	černá	150

Tab. 3 Seznam materiálů

KLIMATIZAČNÍ KOMORA

Použité vzorky byly před vlastním měřením klimatizovány v klimatizované komoře *APT, Line KBF* s programovatelnými podmínkami (Obr. 19). Komora je umístěná v laboratoři na katedře KOD, v laboratoři fyziologického komfortu. Přístroj je vybaven dvoukanálovým multifunkčním mikroprocesorovým regulátorem pro vkládání teploty a vlhkosti a digitálním displejem s přesností na 0,1 °C, respektive 0,1 % relativní vlhkosti. Vzduch je zvlhčován elektrodoým generátorem vodních par.

Parametry klimatizační komory

Hmotnost: 160 kg

vnější rozměry: 1034x1142x746 mm

vnitřní rozměry: 800x600x500 mm

vnitřní objem: 240 l

teplotní rozsah bez regulace vlhkosti: -10°C

~ +100°C

teplotní rozsah s regulací vlhkosti: +10°C ~

90°C



Obr. 19 Klimatizační komora

TERMORIZNÍ KAMERA

K zjišťování emisivity textilních materiálů byla použita termovizní kamera **Therma CAMTM S60** (Obr. 20), která je dostupná také na katedře KOD. Infračervený zobrazovací systém zahrnuje infračervenou kameru s vestavěným objektivem 24°, vizuální barevnou kameru, laserové ukazovátko, infračervené komunikační spojení (IrDA), barevný čtyřpalcový displej LCD na odnímatelném dálkovém ovládaní. Kamera měří a zobrazuje objektem vyzařované infračervené záření, umí vypočítat a zobrazit povrchovou teplotu objektu. Obsluhuje se pomocí několika tlačítek. Obraz se ukládá do vnitřní paměti, nebo na vnější paměťovou kartu. Kamera také nabízí rychlý záznam pro nahrávání infračervených obrazů. V počítači se pak můžou obrazy prohlížet, analyzovat a přehrávat zvukové komentáře.

Parametry termovizní kamery

hmotnost: 2kg včetně baterie a dálkového ovládaní

rozměry (d x š x v): 234 x 124 x 161 mm

teplotní rozsah: - 40°C ~ 120°C

0°C ~ +500°C

+350°C ~ +1500°C



Obr. 20 Termovizní kamera Therma Cam S60

přesnost: $\pm 2^{\circ}\text{C}$ nebo $\pm 2\%$ z absolutní

hodnoty teploty v $^{\circ}\text{C}$

zobrazení: vestavěný, barevný LCD s vysokým rozlišením

prostorové rozlišení: 1,3mrad

frekvence zobrazení: 50/60 Hz

[16, 29]

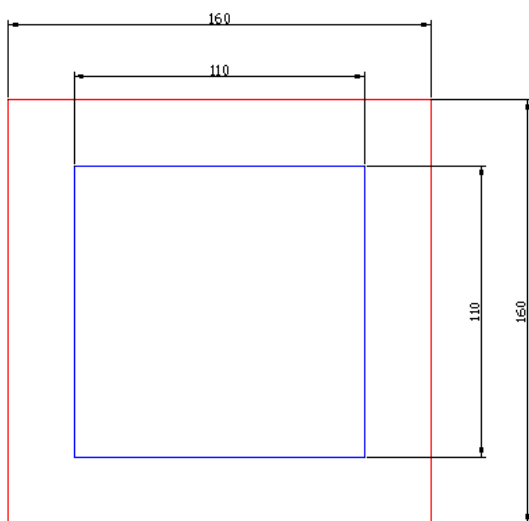
4.1 STANOVENÍ EMISIVITY TEXTILNÍCH MATERIÁLŮ POMOCÍ METODY ZALOŽENÉ NA KOMBINACI DALŠÍCH METOD MĚŘENÍ POVRCHOVÉ TEPLoty

Pro stanovení emisivity textilních materiálů byla dle Jana Líbala, Využití termovizní kamery pro měření elektrických strojů (9) nejdříve zvolena *metoda založená na kombinaci dalších metod měření povrchové teploty*. Povrchová teplota vzorků se měřila pomocí termočlánku a termovizní kamery.

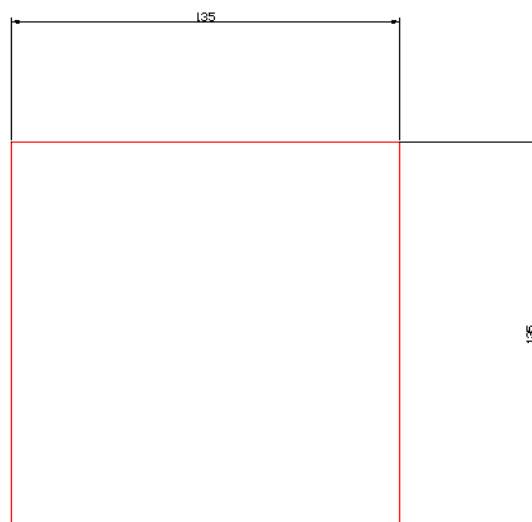
4.1.1 PŘÍPRAVA EXPERIMENTU

- Připravit vzorky pro všechny druhy materiálů o velikosti 100 x 100 mm (z každého materiálu připravit 5 vzorků).
- Připravit polystyrén1 velikosti 160 x 160 x 50 mm (Obr. 21). Polystyrén slouží jako tepelný izolant.
- Připravit polystyrénové víčko velikosti 135 x 135 x 20 mm (Obr. 22). Víčkem se vzorek přikryje při vyndávání z klimatizační komory.
- Připravit polystyrén2 velikosti 240 x 230 x 490 mm (Obr. 23). Tloušťka polystyrénu je 20 mm. Polystyrén slouží jako tepelný izolant při vlastním měření. Izoluje vzorky od okolí.
- Připravit termočlánek, který měří povrchovou teplotu vzorku v okamžiku snímání termovizní kamerou. Termočlánek se také nachází na katedře oděvnictví v laboratořích fyziologického komfortu.

- Připravit termovizní kameru. Termovizní kamera je ukotvena na stativu, míří k zemi. Vzdálenost mezi snímaným objektem a termovizní kamerou je 400 mm.



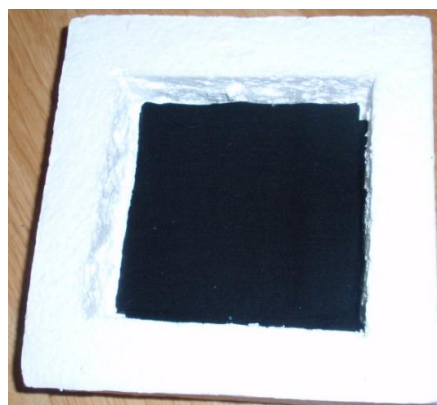
Obr. 21 Polystyren1 velikosti 160 x 160 x 50 mm



Obr. 22 Polystyrenové víčko velikosti 135 x 135 mm



Obr. 23 Polystyren2 velikosti 240 x 230 x 490 mm



Obr. 24 Uložení vzorků do polystyrénu1

4.1.2 VLASTNÍ MĚŘENÍ

Podle předchozího zkoumání byl stanoven počet vzorků, které se umístí do polystyrenu1, na 5. Pět vzorků z každého druhu materiálu o velikosti 100 x 100 mm bylo postupně vloženo do připraveného polystyrénu1 lící stranou nahoru (Obr. 24). Pak byly vzorky vloženy na 16 hodin do klimatizační komory. V klimatizační komoře byla nastavena teplota T na 33°C a relativní vlhkost RH na 65%. Po 16 hodinách byly vzorky vyjmuty a v polystyrénu1, který slouží jako tepelný izolant, přemístěny do klimatizované místnosti ($T = 21^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, $RH = 65\% \pm 4\%$). Tady byly vzorky

vloženy do polystyrenu2 a snímány termovizní kamerou. V okamžiku snímání byla také měřená povrchová teplota vzorku termočlánkem. Nejdříve byly nasnímány všechny vzorky a pak byly jednotlivé obrazy vyhodnocovány v programu Thermal CAMTM Researcher. Pomocí známé teploty z termočlánku byla v programu vypočítána emisivita daného vzorku.

4.1.2.1 POSTUP MĚŘENÍ

1. Připravit vzorky. Z každého druhu materiálu 5 vzorků, které byly položeny na sebe lící stranou nahoru.
2. Připravit všechny tři polystyreny.
3. Vložit vzorky do připraveného polystyrénu1 (Obr. 24).
4. Vložit připravený polystyrén1 do klimatizační komory na 16 hodin.
5. Nastavit parametry klimatizační komory ($T = 33\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\text{RH} = 65\%$) dle potřeby a zapnout klimatizační komoru.



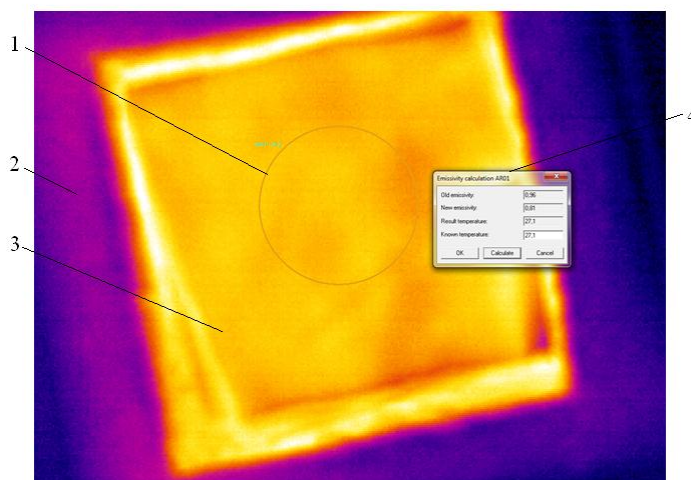
Obr. 25 Umístění polystyrenu2 pod kameru

6. Na druhý den připravit termovizní kameru a nastavit parametry objektu:
 - teplota atmosféry: 21°C
 - vzdálenost od měřeného objektu: 400 mm
 - relativní vlhkost: 65%
 - teplota zdánlivě odražená: 21°C .
7. Připravit polystyren2 dle Obr. 25.
8. Vyjmout vzorky z klimatizační komory (i s víčkem), přemístit vzorky do klimatizované místnosti ($T = 21^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\text{RH} = 65\% \pm 4\%$) a vložit vzorky

pod objektiv termovizní kamery do připraveného polystyrénu². Odebrat polystyrenové víčko ze vzorku.

9. Změřit povrchovou teplotu vzorku termočlánkem a zapsat ji.
10. Vytvořit snímek termovizní kamerou.
11. Vytvořit periodické snímky pomocí funkce ***periodické ukládání***. Volba ***rychle*** je vypnuta. Snímek se snímá každých 10 vteřin po dobu 120 vteřin.
12. Vytvořit snímky pro všechny vzorky.
13. Přenést data do počítače a vyhodnotit získaná data v programu ***Therma CAMTM Researcher***:

- otevřít program Therma CAMTM Researcher
- najít a zobrazit získané snímky pomocí příkazu ***Open images***
- vytvořit na snímku 1 kruh v místě materiálu - AR01 (Obr. 26)
- otevřít příkaz ***Emissivity Calculation*** pro AR01
- zadat do tabulky získanou teplotu z termočlánku
- přepočítat (calculate) emisivitu.



Obr. 26 Snímek z termokamery

Legenda: 1 – AR01, 2 – polystyren1, 3 – vzorek, 4 – výpočet emisivity pomocí příkazu Emissivity Calculation

4.1.3 VYHODNOCENÍ EXPERIMENTU

I když metoda zjišťování emisivity pomocí kombinace dalších metod měření povrchové teploty, patří mezi nejpoužívanější metody určování emisivity v provozních podmínkách, *já jsem tuto metodu zavrhla*.

Problém nastal při měření teploty povrchu vzorku termočlánkem. Teplota použitého termočlánku se pohybovala kolem $21^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ (teplota v klimatizované místnosti) a teplota vzorku se pohybovala mezi 30°C až 36°C . Teplo přechází z teplejšího tělesa na chladnější, a proto teplota vzorku v místě kontaktu rychle klesala. Nedokázala jsem zajistit dobrý kontakt termočlánku s měřeným povrchem, aby termočlánek neodváděl teplotu z povrchu vzorku. Také je důležité znát průměrnou teplotu vzorku v okamžiku snímání pro zjištění emisivity. Já jsem dokázala zjistit povrchovou teplotu vzorku v okamžiku snímání jenom v bodě.

4.2 STANOVENÍ EMISIVITY TEXTILNÍCH MATERIÁLŮ POMOCÍ METODY ZALOŽENÉ NA POUŽITÍ DODATEČNÉHO MATERIÁLU NEBO SPECIÁLNÍHO NÁTĚRU

Protože jsem první metodu zavrhla, hledala jsem další možnosti jak změřit emisivitu vzorku. Další metodou určování neznámé hodnoty emisivity povrchu materiálu je použití dodatečného materiálu nebo speciálního nátěru. Na stránkách firmy TMVSS (25) jsem objevila lepicí štítky *thermaSpot*, viz Příloha č. 3. Jde o černý, nebo bílý lepicí štítek o známé emisivitě ($\varepsilon=0,96$). Výhodou je snadná aplikace, snadné odstranění. Díky známé emisivitě *thermaSpotu* se dá jednoduše zjistit i emisivita vzorku. Do práce byl použit *thermaSpot* bílé barvy.

4.2.1 PŘÍPRAVA EXPERIMENTU

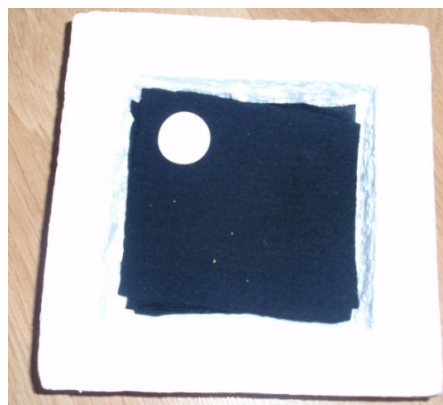
- Připravit *thermaSpot*.
- Připravit vzorky pro všechny druhy materiálů o velikosti 100 x 100 mm (z každého materiálu připravit 5 vzorků).

- Připravit polystyrén¹ velikosti 160 x 160 x 50 mm (Obr. 21). Polystyrén slouží jako tepelný izolant.
- Připravit polystyrénové víčko velikosti 135 x 135 x 20 mm (Obr. 22). Víčkem se vzorek přikryje při vyndávání z klimatizační komory.
- Připravit polystyrén² velikosti 240 x 230 x 490 mm (Obr. 23). Tloušťka polystyrénu je 20 mm. Polystyrén slouží jako tepelný izolant při vlastním měření. Izoluje vzorky od okolí.
- Připravit termovizní kameru. Termovizní kamera je ukotvena na stativu, míří k zemi. Vzdálenost mezi snímaným objektem a termovizní kamerou je 400 mm.

4.2.2 VLASTNÍ MĚŘENÍ

Podle předchozího zkoumání byl stanoven počet vzorků, které se umístí do polystyrenu¹, na 5. Pět vzorků z každého druhu materiálu o velikosti 100 x 100 mm bylo postupně vložených do připraveného polystyrénu¹ lící stranou nahoru. Na poslední vzorek byl nalepen thermaSpot (Obr. 27). Pak byly vzorky vloženy na 16 hodin do klimatizační komory. V klimatizační komoře byla nastavena teplota T na 33°C a relativní vlhkost RH na 65%.

Po 16 hodinách byly vzorky vyjmuty a v polystyrénu¹, který slouží jako tepelný izolant, přemístěny do klimatizované místnosti ($T=21^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$, RH=65%). Tady byly vzorky vloženy do polystyrenu² a snímány termovizní kamerou. Nejdříve byly nasnímány všechny vzorky a pak byl obraz vyhodnocován v programu *Therma CamTM Researcher*. Pomocí známé emisivity thermaSpotu ($\epsilon = 0,96$) byla v programu vypočítána emisivita daného vzorku.

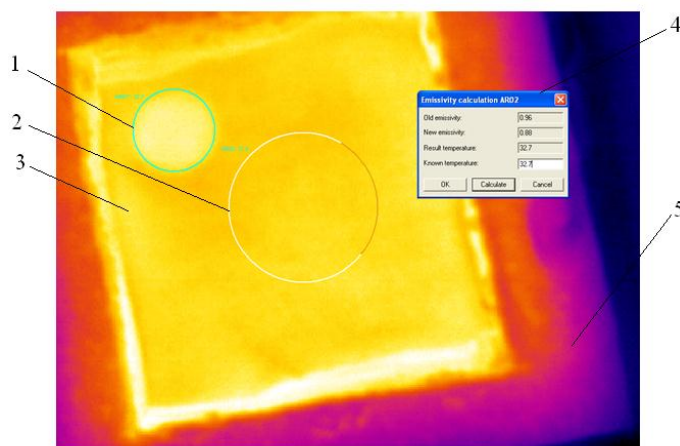


Obr. 27 Uložení vzorku s thermaSpotem do polystyrenu¹

4.2.2.1 POSTUP MĚŘENÍ

1. Připravit vzorky. Z každého druhu materiálu 5 vzorků, které byly položeny na sebe lící stranou nahoru.
2. Připravit všechny tři polystyreny.

3. Vložit vzorky do připraveného polystyrénu¹ a nalepit thermaSpot (Obr. 27).
 4. Vložit připravený polystyrén¹ do klimatizační komory na 16 hodin.
 5. Nastavit parametry klimatizační komory dle potřeby ($T = 33\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\text{RH} = 65\%$) a zapnout klimatizační komoru.
 6. Na druhý den připravit termovizní kameru a nastavit parametry objektu:
 - teplota atmosféry: 21°C
 - vzdálenost od měřeného objektu: 400 mm
 - relativní vlhkost: 65%
 - teplota zdánlivě odražená: 21°C
 7. Připravit polystyren² dle Obr. 25
 8. Vyjmout vzorky z klimatizační komory (i s víčkem), přemístit vzorky do klimatizované místnosti ($T = 21\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\text{RH} = 65\% \pm 4\%$) a vložit vzorky pod objektiv termovizní kamery do připraveného polystyrénu². Odebrat polystyrenové víčko ze vzorku.
 9. Vytvořit snímek termovizní kamerou.
 10. Vytvořit periodické snímky pomocí funkce ***periodické ukládání***. Volba ***rychle*** je ***vypnuta***. Snímek se snímá každých 10 vteřin po dobu 120 vteřin.
 11. Vytvořit snímky pro všechny vzorky.
 12. Přenést data do počítače a vyhodnotit získaná data v programu ***Therma CAMTM***
- Researcher:***
- otevřít program Therma CAMTM Researcher
 - najít a zobrazit získané snímky pomocí příkazu ***Open images***
 - vytvořit na snímku 2 kruhy v místě materiálu – AR01 a AR02 (Obr. 28)
 - otevřít příkaz ***Emisivity Calculation*** pro AR01
 - zadat do tabulky známou emisivitu thermaSpotu, zjistíme tak teplotu thermaSpotu
 - otevřít příkaz ***Emisivity Calculation*** pro AR02
 - zadat zjištěnou novou teplotu
 - přepočítat (calculate) emisivitu.



Obr. 28 Snímek z thermaSpotem z termovizní kamery

Legenda: 1 – AR01 (thermaSpot), 2 – AR02, 3 – vzorek, 4 – výpočet emisivity pomocí příkazu Emissivity Calculation, 5 – polystyren1

4.2.3 VYHODNOCENÍ EXPERIMENTU

Metodu stanovení emisivity textilních materiálů pomocí metody založené na použití dodatečného materiálu nebo speciálního nátěru *jsem nezavrhl*a a v práci jsem dále pokračovala v této metodě. Lepící štítky se jednoduše aplikují a jednoduše se s nimi manipuluje, thermaSpot neodebírá teplo ze vzorku. Odpadá měření povrchové teploty vzorku v okamžiku snímání. Štítky neovlivňují vlastnosti zkoumaného vzorku, po zkoušce vzorek není znehodnocen. Emisivita štítku je předem daná a pak se jednoduše zjistí i emisivita vzorku. Teplota není zkreslená.

4.3 ZÁVISLOST EMISIVITY TEXTILNÍCH MATERIÁLŮ NA TEPLITĚ A VLHKOSTI DANÉHO MATERIÁLU

V této části experimentu byla zkoumána emisivita pomocí termovizní kamery. Jak se mění emisivita při změně teploty a relativní vlhkosti daného materiálu. Byly testovány vzorky různých materiálů M1 – M8 (Tab. 3), různého složení a různé barvy, viz příloha č. 2. Testovaly se jak syntetické materiály, tak směšové materiály. Ze syntetických materiálů byl testován polypropylen a funkční polyester. Ze směšových materiálů byla testována směs bavlny s polypropylénem a 95% bambus s 5 % lycrou. U materiálu M8 byl zvolen materiál z přírodního vlákna (100 % vlna merino).

V klimatizační komoře byla měněná teplota nebo relativní vlhkost dle potřeby. Pro experiment byla nejdřív zvolena teplota T1 – T3 (Tab. 4). Relativní vlhkost se neměnila (RH=65%). Pak byla konstantní teplota (T=33°C) a měnila se relativní vlhkost RH1 – RH3 (Tab. 5). Pro každou teplotu a relativní vlhkost byla provedena tři měření z každého materiálu, viz příloha č. 4. Pak byla vypočítána průměrná emisivita \bar{E} .

T1 = 30 °C	Teplota nižší o 3°C oproti teplotě T2.
T2 = 33°C	Přibližná teplota pokožky.
T3 = 36°C	Teplota vyšší o 3°C oproti teplotě T2.

Tab. 4 Proměnná teplota

Teplota T1 by měla být o 3K vyšší než je teplota atmosféry. (Teplota je důležitá pro výpočet emisivity v programu Tterma CAMTM Researcher).

RH1 = 50%	Relativní vlhkost o 15% než RV2.
RH2 = 65%	Relativní vlhkost je stejná jako relativní vlhkost v měřené místnosti.
RH3 = 80%	Relativní vlhkost o 15% vyšší než RV2.

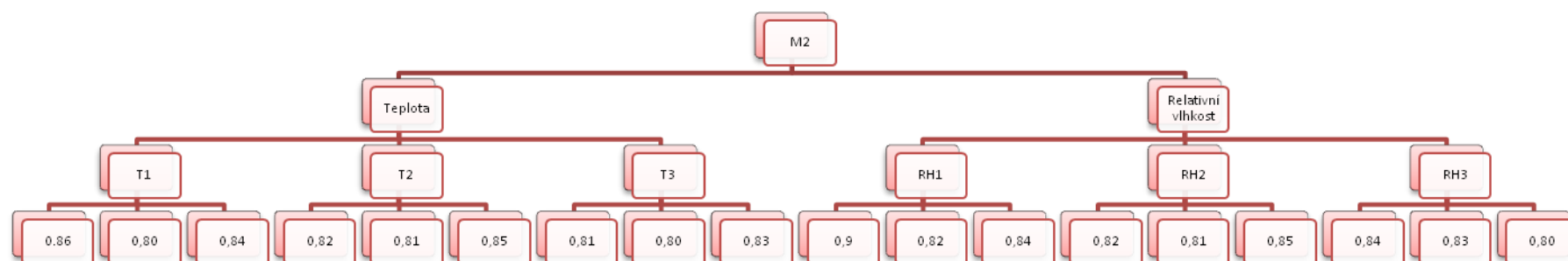
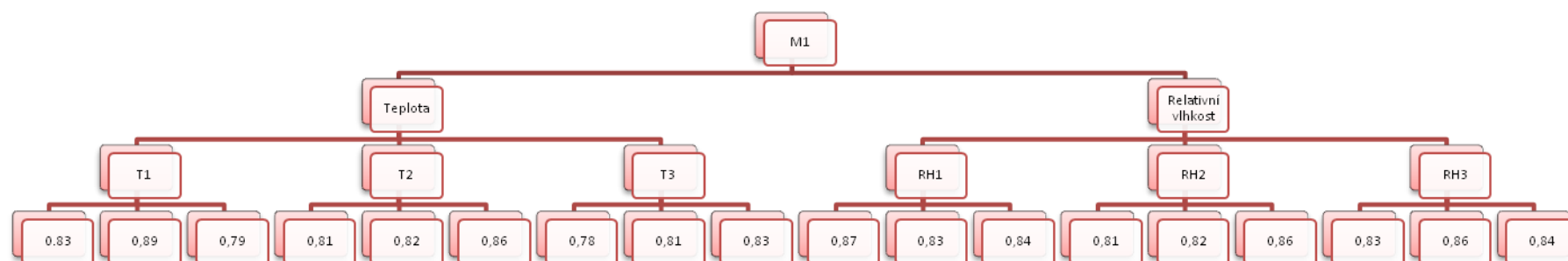
Tab. 5 Proměnná relativní vlhkost

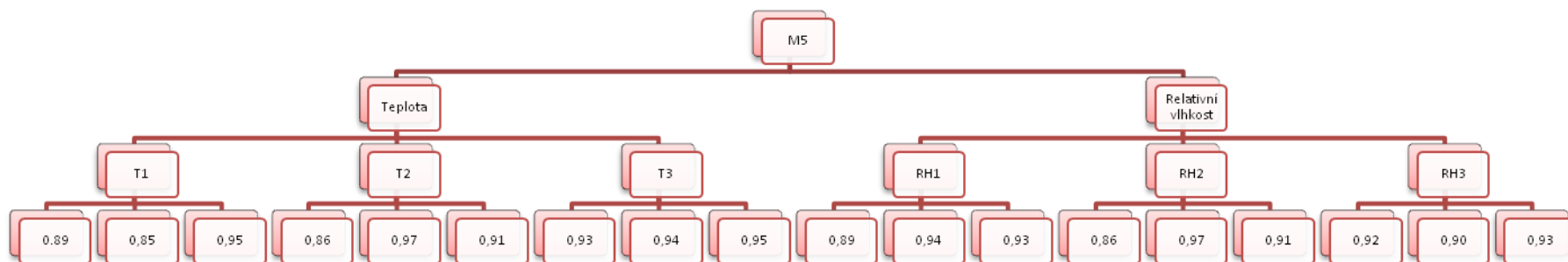
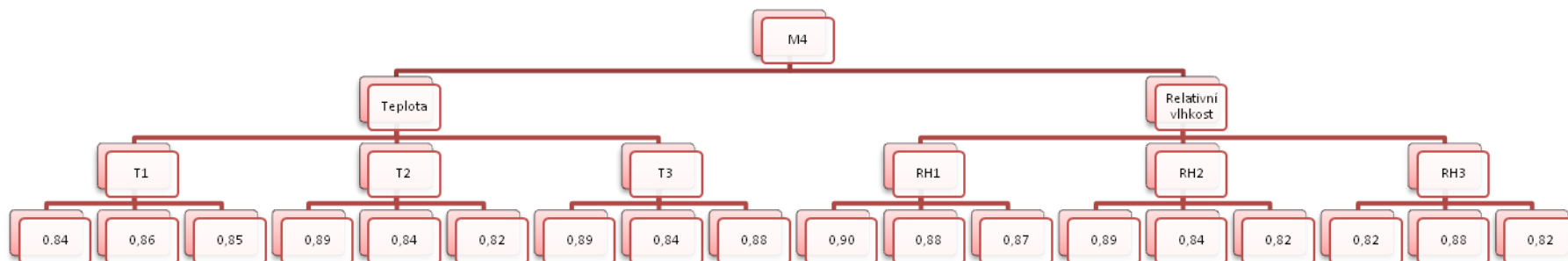
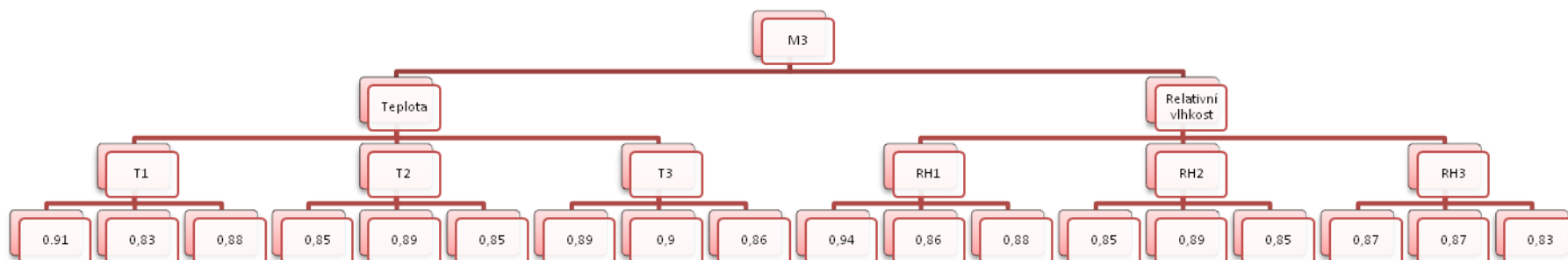
Pro zkoumání závislosti emisivity na teplotě, nebo relativní vlhkosti byla zvolena metoda z předcházející kapitoly **4.4**. Příprava experimentu a vlastní měření byly také stejné jako v kapitole **4.4.1** a **4.4.2**.

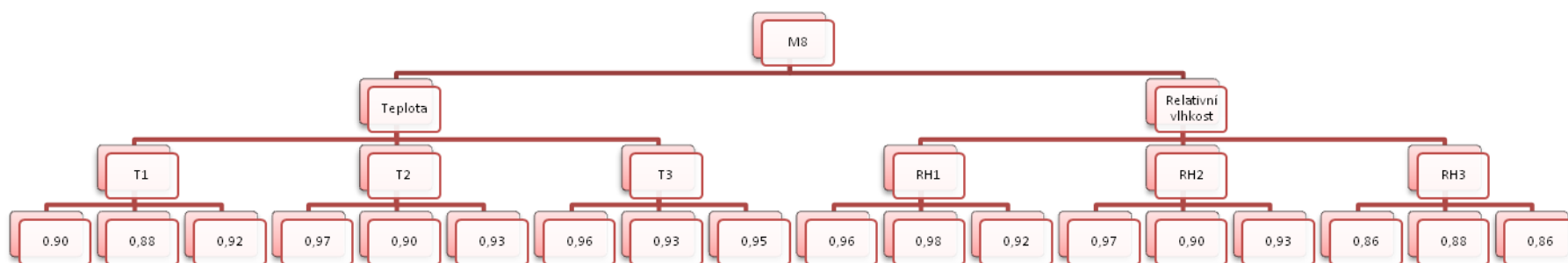
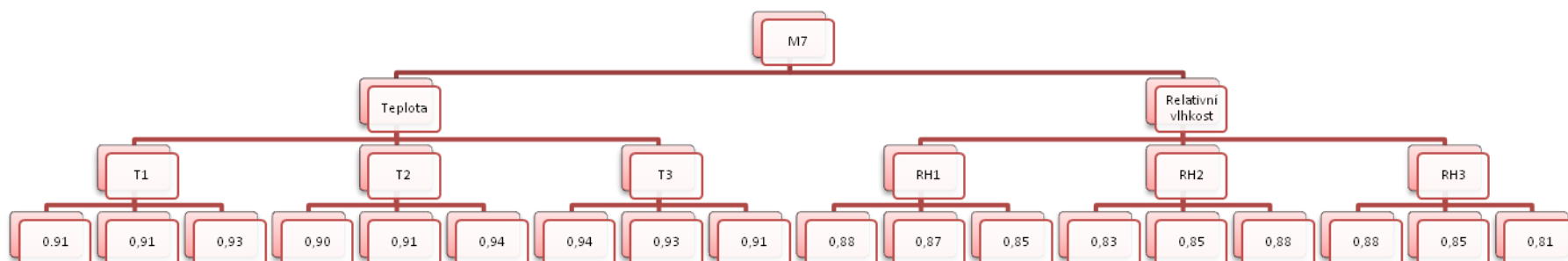
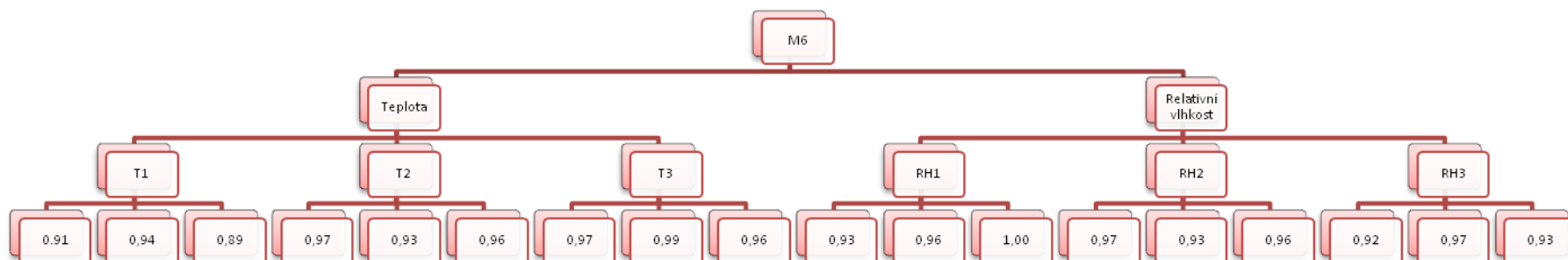
Získaná data byla vyhodnocena v software Ms Office Excel. Z průměrných hodnot emisivit byly vytvořené jednotlivé grafy, které znázorňují závislost emisivity na změně teploty nebo relativní vlhkosti. Grafy byly proloženy lineární regresí.

Ukázka jednotlivých snímků z termovizní kamery pro některé materiály je v příloze č. 5.

Emisivita pro jednotlivé textilní materiály pro různou teplotu a relativní vlhkost







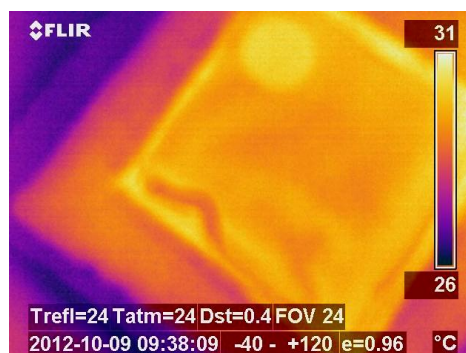
4.3.1 HODNOCENÍ MATERIÁLU M1 A M2 (BAVLNA/POLYPROPYLEN)

Materiály M1 a M2 jsou osnovní pleteniny vyrobené z kombinace bavlny s polypropylenem. Rozdílná je jenom barva. Materiál M1 je červený a materiál M2 je modrý, viz příloha č. 2.

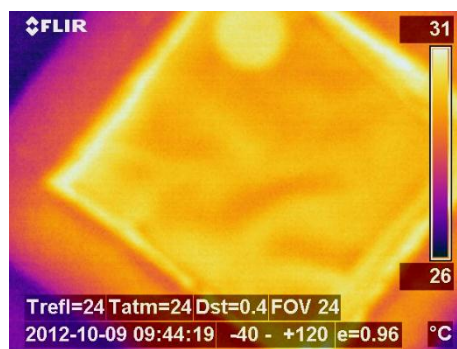
4.3.1.1 ZÁVISLOST EMISIVITY NA TEPLITĚ PRO M1 A M2

Podle kapitoly 4.2 byla pro materiál M1 a teplotu T1 zjištěná průměrná emisivita $\overline{E_{T1}} = 0,84$. Pro teplotu T2: $\overline{E_{T2}} = 0,83$ a pro teplotu T3 byla $\overline{E_{T3}} = 0,81$. U materiálu M1 je průměrná naměřená emisivita $\overline{E_{M1T}} = 0,82$.

Pro materiál M2 a teplotu T1 byla zjištěna průměrná emisivita $\overline{E_{T1}} = 0,83$. Pro teplotu T2: $\overline{E_{T2}} = 0,83$ a pro teplotu T3 byla $\overline{E_{T3}} = 0,81$. U materiálu M2 je průměrná naměřená emisivita $\overline{E_{M2T}} = 0,82$.

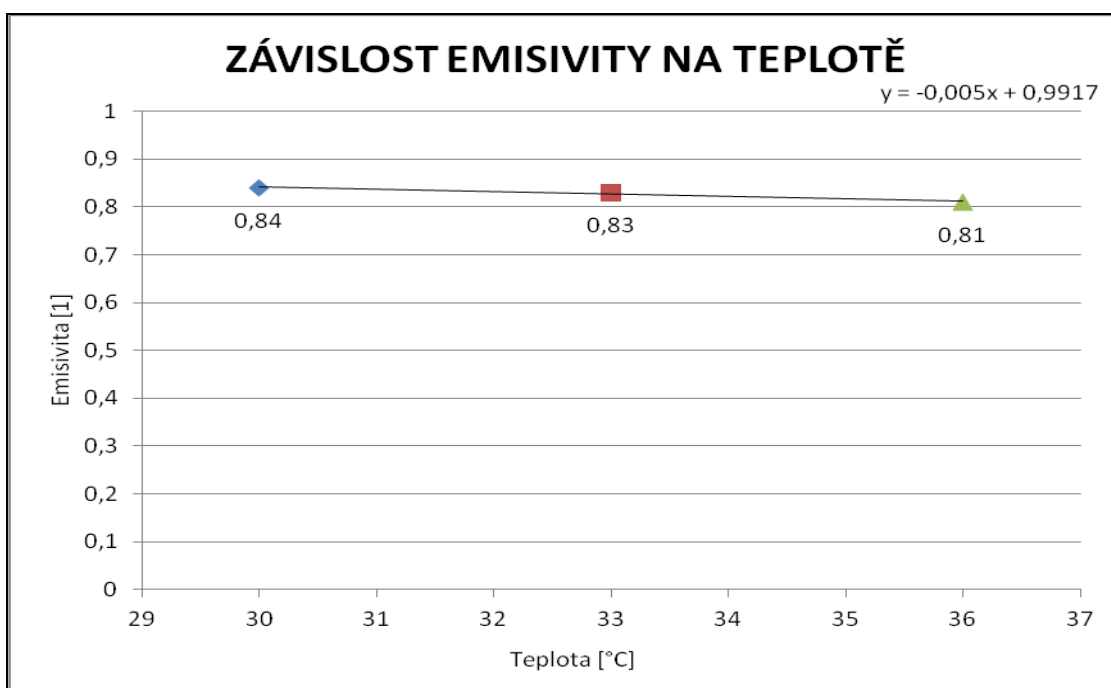


Obr. 29 Snímek z termokamery pro M1 a T1

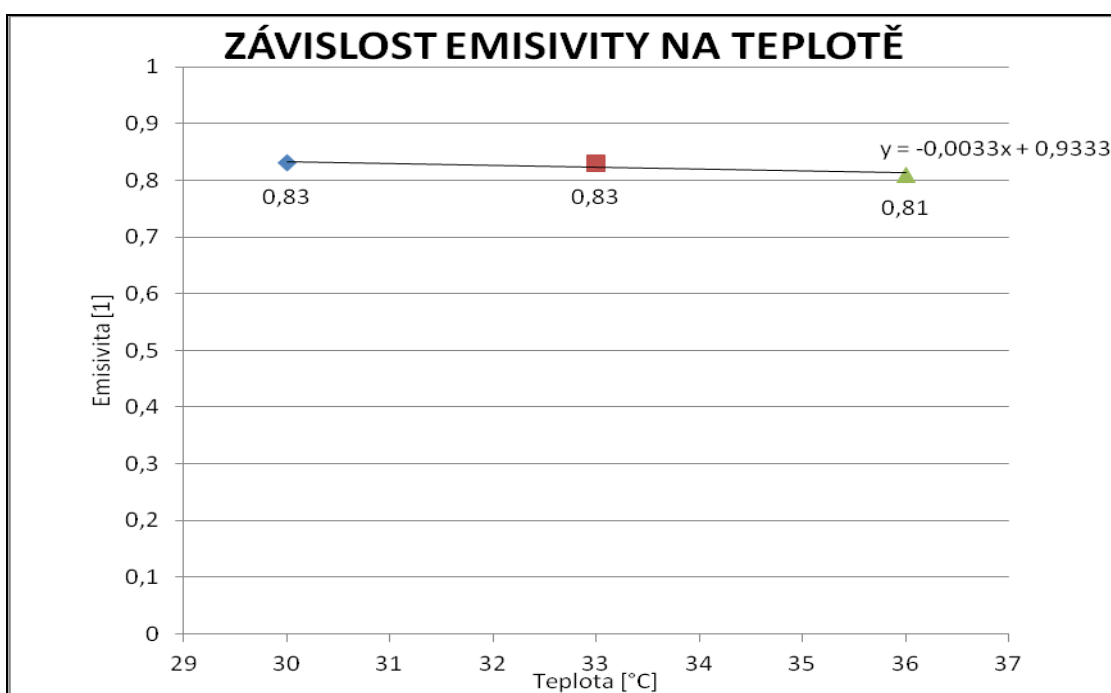


Obr. 30 Snímek z termokamery pro M2 a T1

Graf 1 a Graf 2 zobrazuje závislost emisivity na změně teploty u obou materiálů.



Graf 1 Závislost emisivity na teplotě pro M1



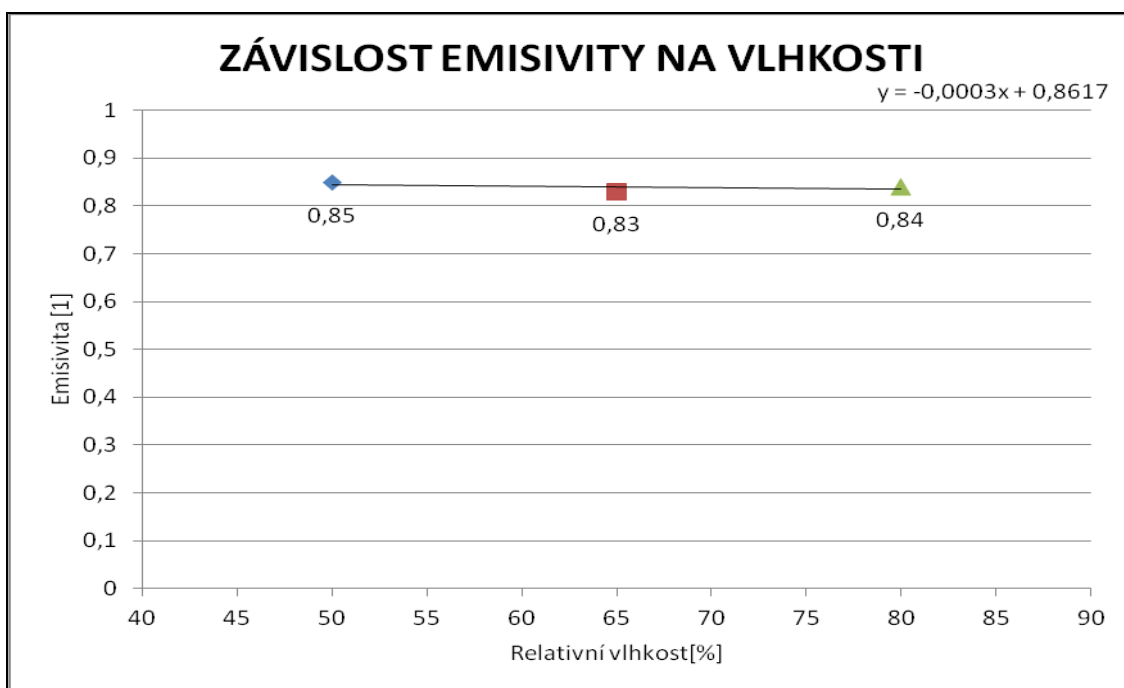
Graf 2 Závislost emisivity na teplotě pro M2

4.3.1.2 ZÁVISLOST EMISIVITY NA VLHKOSTI PRO M1 A M2

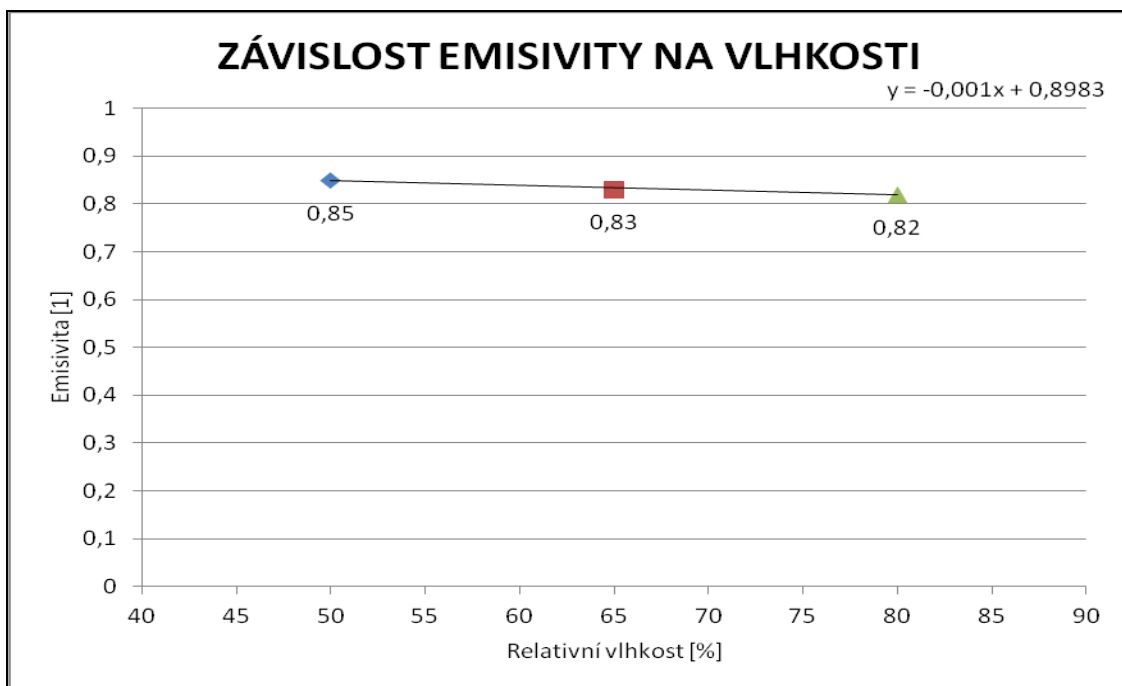
Podle kapitoly 4.2 byla pro materiál M1 a relativní vlhkost RH1 zjištěna průměrná emisivita $\overline{E_{RH1}} = 0,85$. Pro relativní vlhkost RH2: $\overline{E_{RH2}} = 0,83$ a pro relativní vlhkost RH3 byla $\overline{E_{RH3}} = 0,84$. U materiálu M1 je průměrná naměřená emisivita $\overline{E_{M1RH}} = 0,84$.

Pro materiál M2 a relativní vlhkost RH1 byla zjištěna průměrná emisivita $\overline{E_{RH1}} = 0,85$. Pro relativní vlhkost RH2: $\overline{E_{RH2}} = 0,83$ a pro relativní vlhkost RH3 byla $\overline{E_{RH3}} = 0,82$. U materiálu M2 je průměrná naměřená emisivita $\overline{E_{M2RH}} = 0,83$.

Graf 3 a Graf 4 zobrazuje závislost emisivity na změně relativní vlhkosti u obou materiálů.



Graf 3 Závislost emisivity na relativní vlhkosti pro M1



Graf 4 Závislost emisivity na relativní vlhkosti pro M2

4.3.2 HODNOCENÍ MATERIÁLU M3 A M4 (FUNKČNÍ POLYESTER)

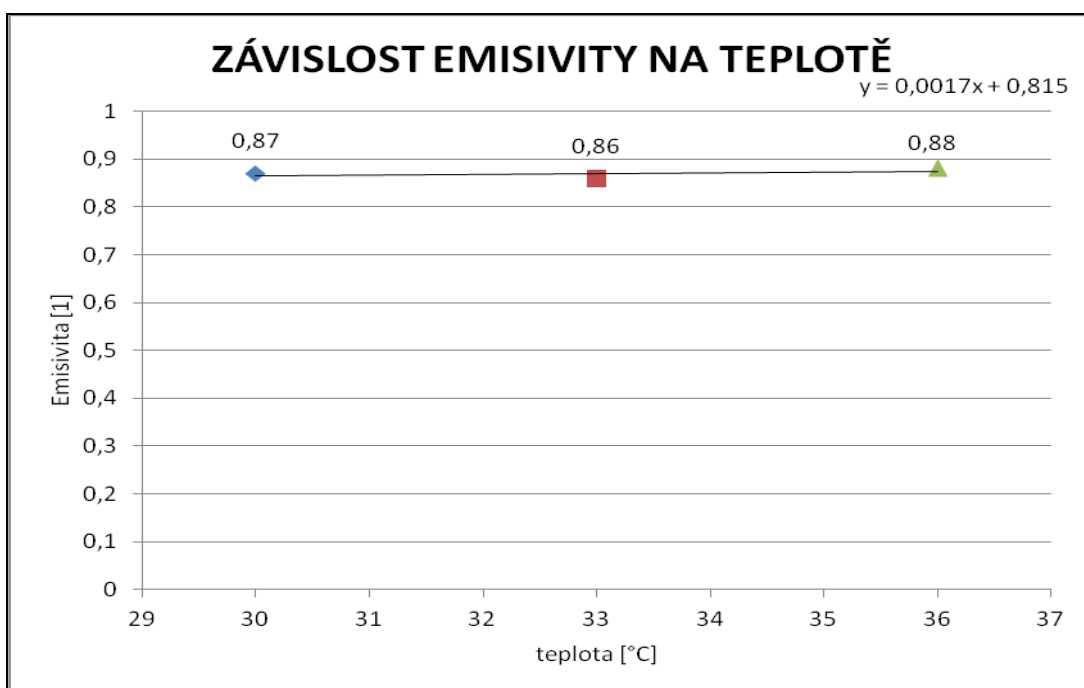
Materiály M3 a M4 jsou osnovní pleteniny vyrobené z funkčního polyesteru. Rozdílná je jenom barva. Materiál M3 je žlutý a materiál M4 je tmavě zelený, viz příloha č. 2.

4.3.2.1 ZÁVISLOST EMISIVITY NA TEPLITĚ PRO M3 A M4

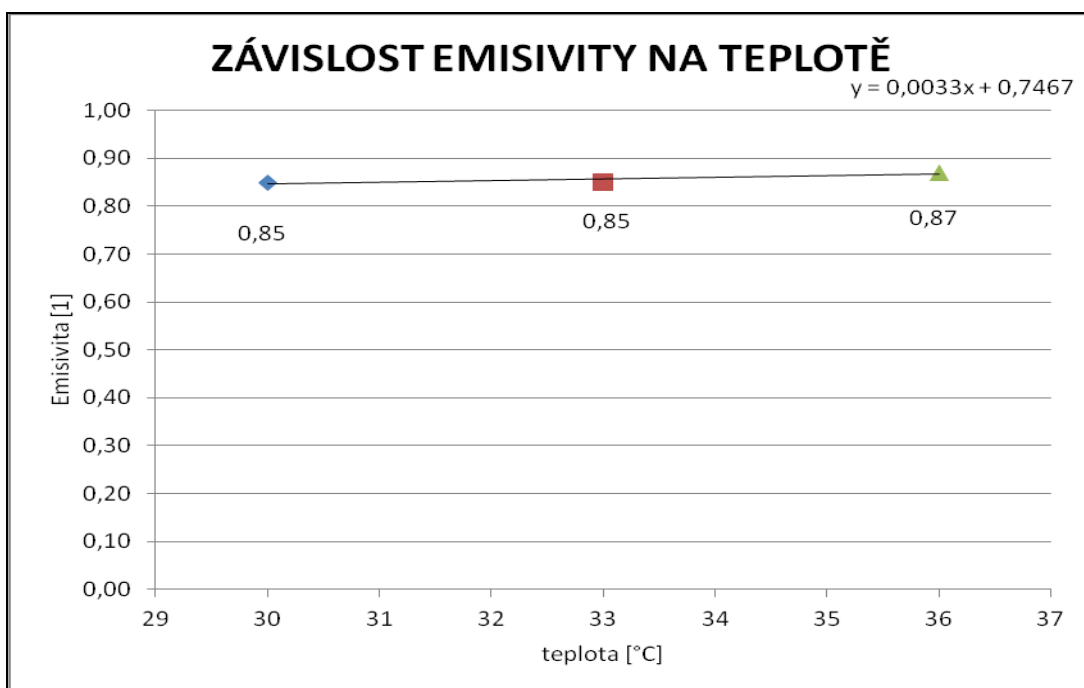
Podle kapitoly 4.2 byla pro materiál M3 a teplotu T1 zjištěna průměrná emisivita $\overline{E_{T1}} = 0,87$. Pro teplotu T2: $\overline{E_{T2}} = 0,86$ a pro teplotu T3 byla $\overline{E_{T3}} = 0,88$. U materiálu M3 je průměrná naměřená emisivita $\overline{E_{M3T}} = 0,87$.

Pro materiál M4 a teplotu T1 byla zjištěna průměrná emisivita $\overline{E_{T1}} = 0,85$. Pro teplotu T2: $\overline{E_{T2}} = 0,85$ a pro teplotu T3: $\overline{E_{T3}} = 0,87$. U materiálu M4 je průměrná naměřená emisivita $\overline{E_{M4T}} = 0,86$.

Graf 5 a Graf 6 zobrazuje závislost emisivity na změně teploty u obou materiálů.



Graf 5 Závislost emisivity na teplotě pro M3



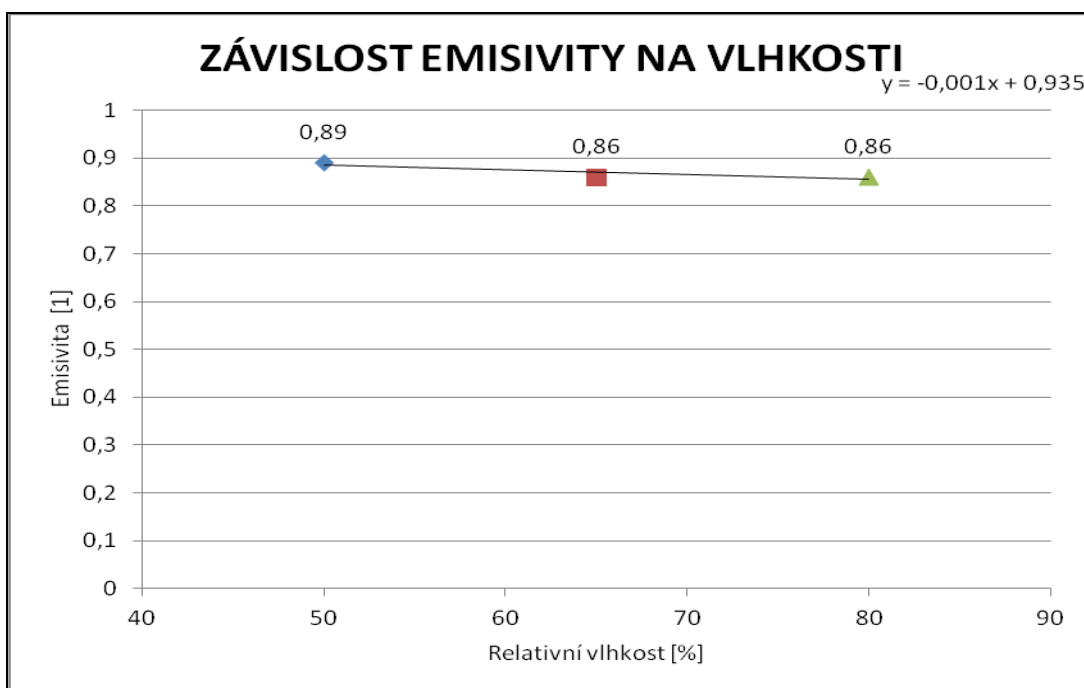
Graf 6 Závislost emisivity na teplotě pro M4

4.3.2.2 ZÁVISLOST EMISIVITY NA VLHKOSTI PRO M3 A M4

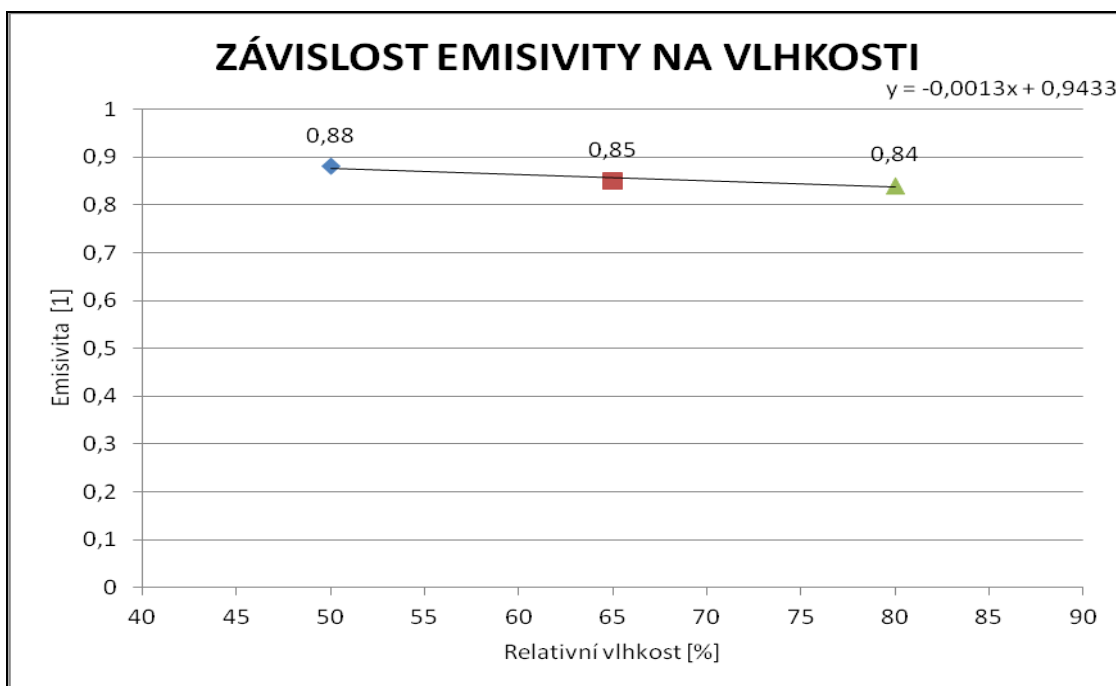
Podle kapitoly 4.2 byla pro materiál M3 a relativní vlhkost RH1 zjištěna průměrná emisivita $\overline{E_{RH1}} = 0,89$. Pro relativní vlhkost RH2: $\overline{E_{RH2}} = 0,86$ a pro relativní vlhkost RH3 byla $\overline{E_{RH3}} = 0,86$. U materiálu M3 je průměrná naměřená emisivita $\overline{E_{M3RH}} = 0,87$.

Pro materiál M4 a relativní vlhkost RH1 byla zjištěna průměrná emisivita $\overline{E_{RH1}} = 0,88$. Pro relativní vlhkost RH2: $\overline{E_{RH2}} = 0,85$ a pro relativní vlhkost RH3 byla $\overline{E_{RH3}} = 0,84$. U materiálu M4 je průměrná naměřená emisivita $\overline{E_{M4RH}} = 0,86$.

Graf 7 a Graf 8 zobrazuje závislost emisivity na změně relativní vlhkosti u obou materiálů.



Graf 7 Závislost emisivity na relativní vlhkosti pro M3



Graf 8 Závislost emisivity na relativní vlhkosti pro M4

4.3.3 HODNOCENÍ MATERIÁLU M5 A M6 (POLYPROPYLEN)

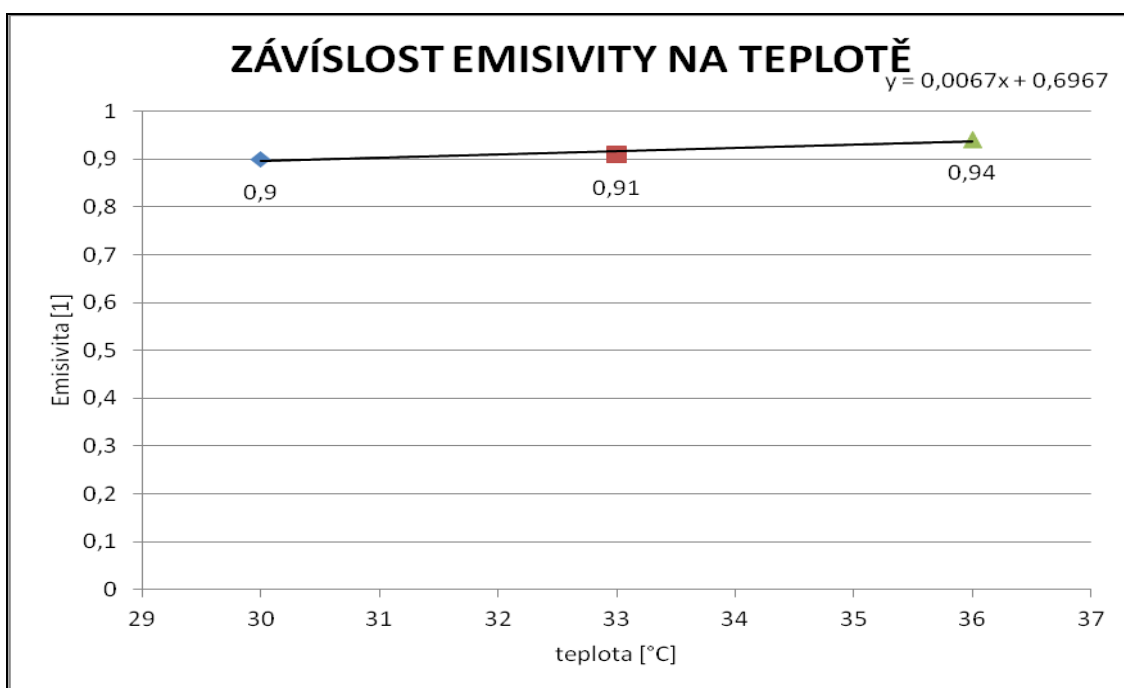
Materiály M5 a M6 jsou osnovní pleteniny vyrobené ze 100 % polypropylenu. Rozdílná je jenom barva. Materiál M5 je bílý a materiál M6 je černý, viz příloha č. 2.

4.3.3.1 ZÁVISLOST EMISIVITY NA TEPLITĚ PRO M5 A M6

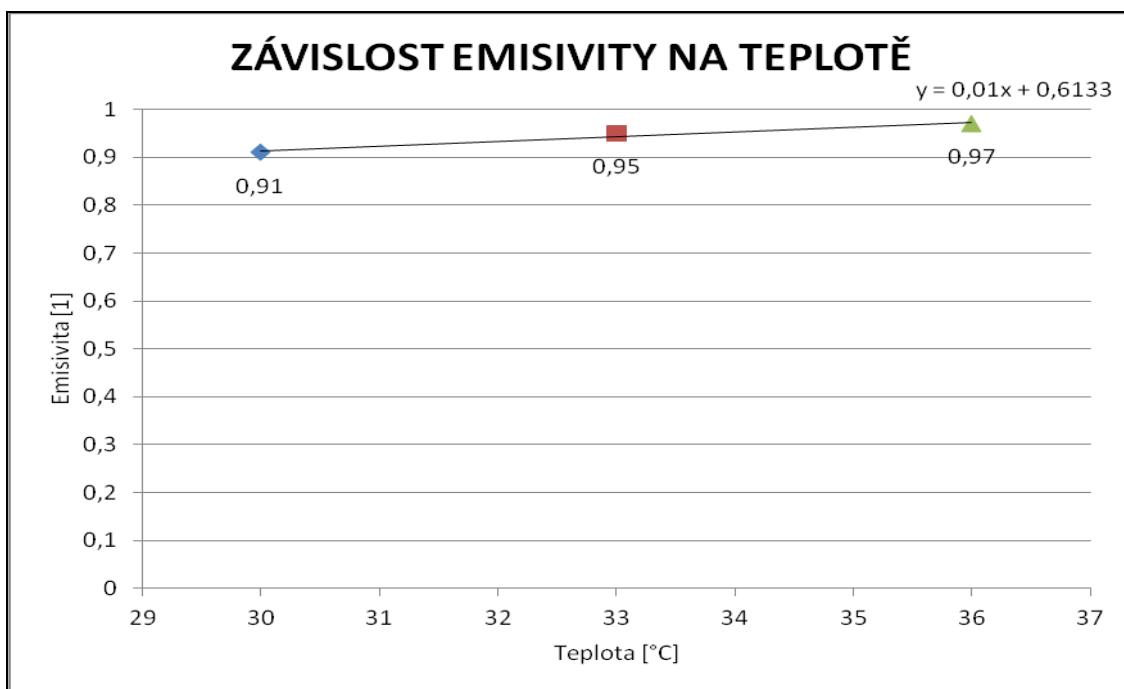
Podle kapitoly 4.2 byla pro materiál M5 a teplotu T1 zjištěna průměrná emisivita $\overline{E_{T1}} = 0,9$. Pro teplotu T2: $\overline{E_{T2}} = 0,91$ a pro teplotu T3 byla $\overline{E_{T3}} = 0,94$. U materiálu M5 je průměrná naměřená emisivita $\overline{E_{M5T}} = 0,92$.

Pro materiál M6 a teplotu T1 byla zjištěna průměrná emisivita $\overline{E_{T1}} = 0,91$. Pro teplotu T2: $\overline{E_{T2}} = 0,95$ a pro teplotu T3: $\overline{E_{T3}} = 0,97$. U materiálu M6 je průměrná naměřená emisivita $\overline{E_{M6T}} = 0,95$.

Graf 9 a Graf 10 zobrazuje závislost emisivity na změně teploty u obou materiálů.



Graf 9 Závislost emisivity na teplotě pro M5



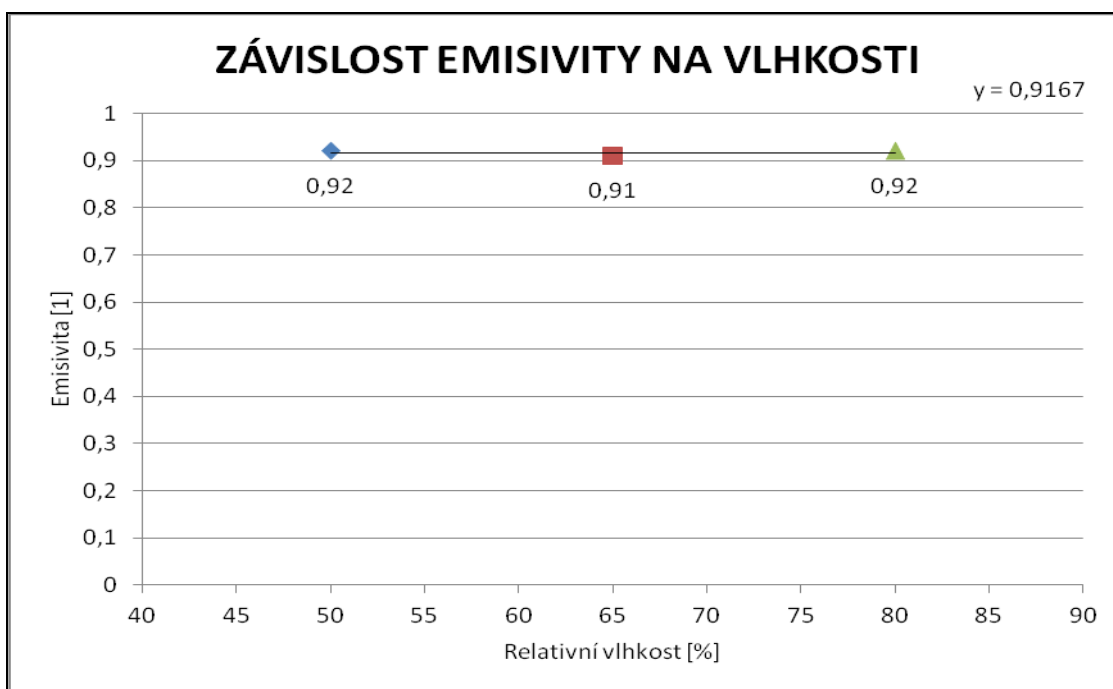
Graf 10 Závislost emisivity na teplotě pro M6

4.3.3.2 ZÁVISLOST EMISIVITY NA VLHKOSTI PRO M5 A M6

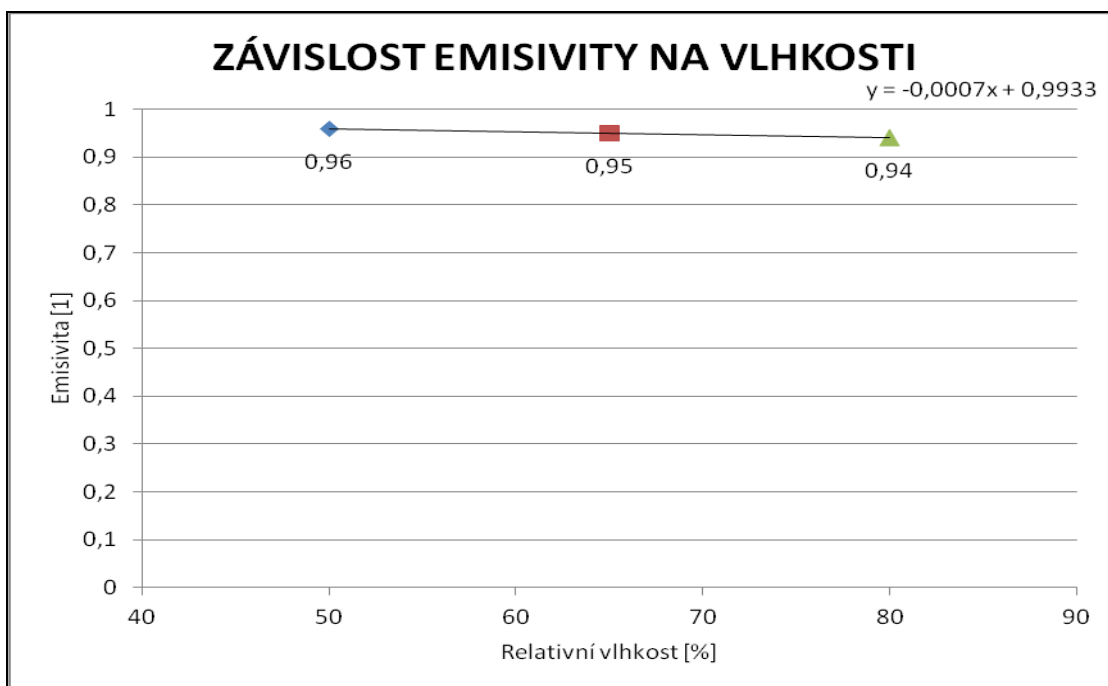
Podle kapitoly 4.2 byla pro materiál M5 a relativní vlhkost RH1 zjištěna průměrná emisivita $\overline{E_{RH1}} = 0,92$. Pro relativní vlhkost RH2: $\overline{E_{RH2}} = 0,91$ a pro relativní vlhkost RH3 byla $\overline{E_{RH3}} = 0,92$. U materiálu M5 je průměrná naměřená emisivita $\overline{E_{M5RH}} = 0,92$.

Pro materiál M6 a relativní vlhkost RH1 byla zjištěna průměrná emisivita $\overline{E_{RH1}} = 0,96$. Pro relativní vlhkost RH2: $\overline{E_{RH2}} = 0,95$ a pro relativní vlhkost RH3 byla $\overline{E_{RH3}} = 0,94$. U materiálu M6 je průměrná naměřená emisivita $\overline{E_{M6RH}} = 0,95$.

Graf 11 a Graf 12 zobrazuje závislost emisivity na změně relativní vlhkosti u obou materiálů.



Graf 11 Závislost emisivity na relativní vlhkosti pro M5



Graf 12 Závislost emisivity na relativní vlhkosti pro M6

4.3.4 HODNOCENÍ MATERIÁLU M7 (95%BAMBUS A 5% LYCRA)

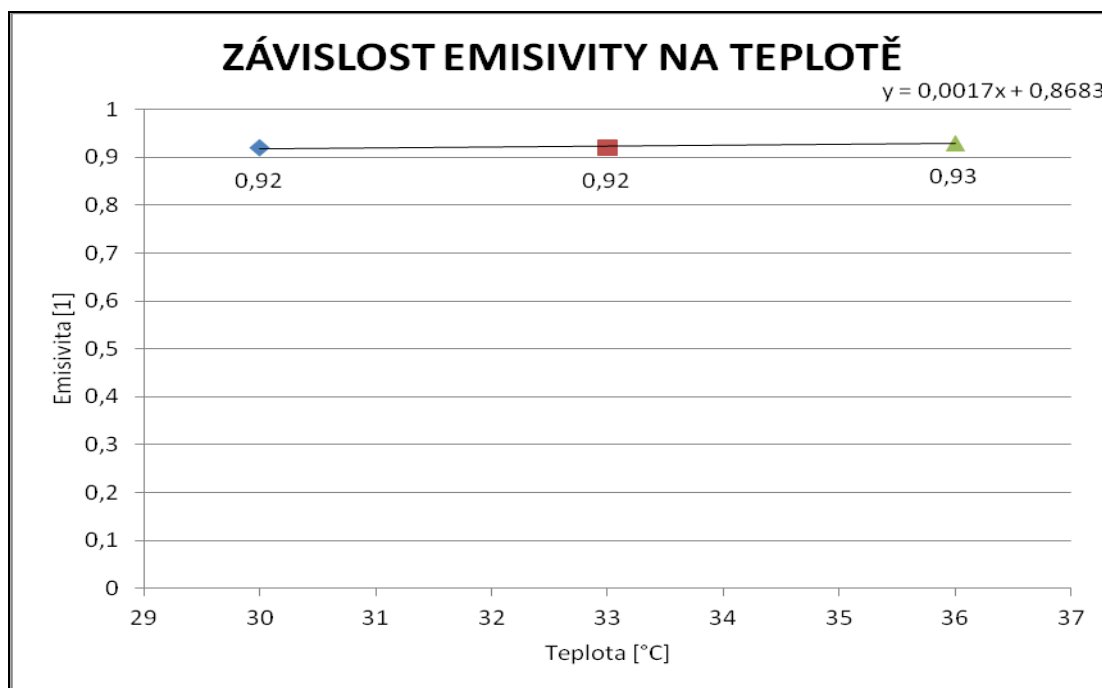
Materiál M7 je osnovní pletenina vyrobená z 95 % bambusu a 5 % lycry. Barva je červená s černým potiskem, viz příloha č. 2

4.3.4.1 ZÁVISLOST EMISIVITY NA TEPLITĚ A RELATIVNÍ VLHKOSTI PRO M7

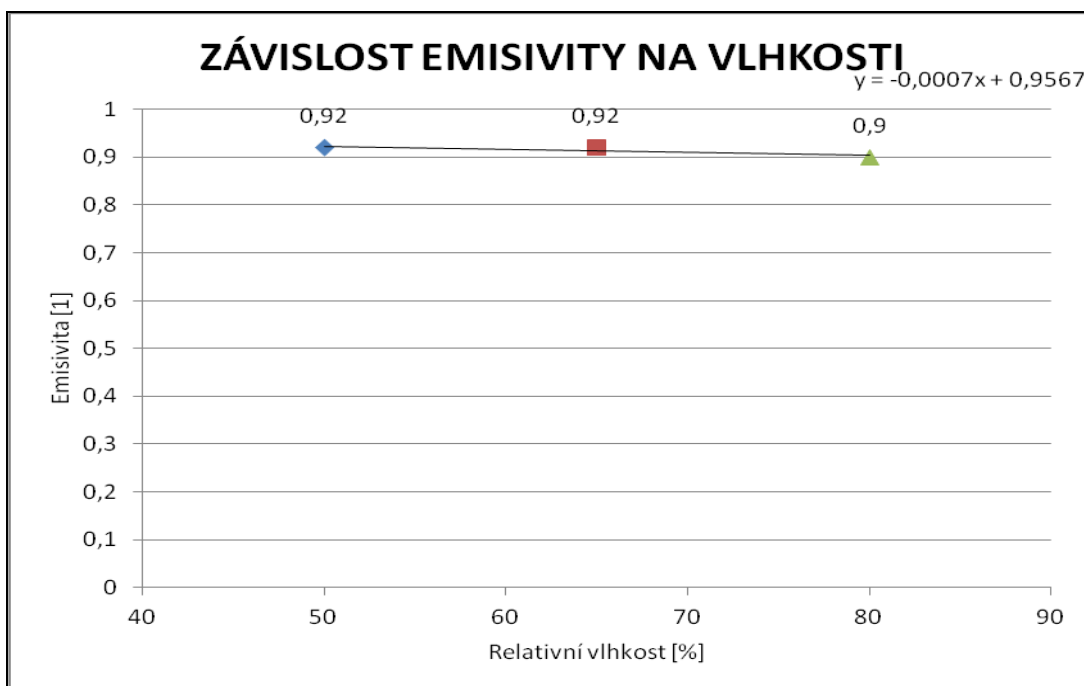
Podle kapitoly 4.2 byla pro materiál M7 a teplotu T1 zjištěna průměrná emisivita $\overline{E_{T1}} = 0,92$. Pro teplotu T2: $\overline{E_{T2}} = 0,92$ a pro teplotu T3 byla $\overline{E_{T3}} = 0,93$. U materiálu M7 je průměrná naměřená emisivita $\overline{E_{M7T}} = 0,92$.

Pro materiál M7 a relativní vlhkost RH1 byla zjištěna průměrná emisivita $\overline{E_{RH1}} = 0,92$. Pro relativní vlhkost RH2: $\overline{E_{RH2}} = 0,92$ a pro relativní vlhkost RH3: $\overline{E_{RH3}} = 0,9$. U materiálu M7 je průměrná naměřená emisivita $\overline{E_{M7RH}} = 0,91$.

Graf 13 zobrazuje závislost emisivity na změně teploty a Graf 14 zobrazuje závislost emisivity na relativní vlhkosti.



Graf 13 Závislost emisivity na teplotě pro M7



Graf 14 Závislost emisivity na relativní vlhkosti pro M7

4.3.5 HODNOCENÍ MATERIÁLU M8 (VLNA MERINO)

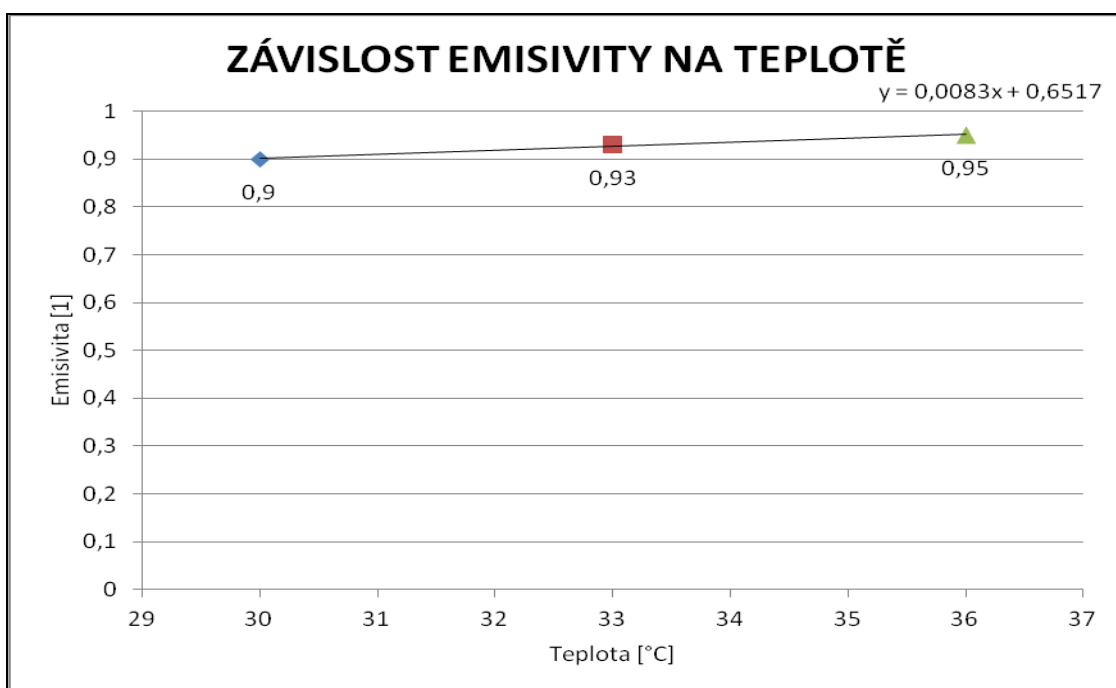
Materiál M8 je osnovní pletenina vyrobená ze 100 % vlny merino. Barva je černá, viz příloha č. 2.

4.3.5.1 ZÁVISLOST EMISIVITY NA TEPLITĚ A RELATIVNÍ VLHKOSTI PRO M8

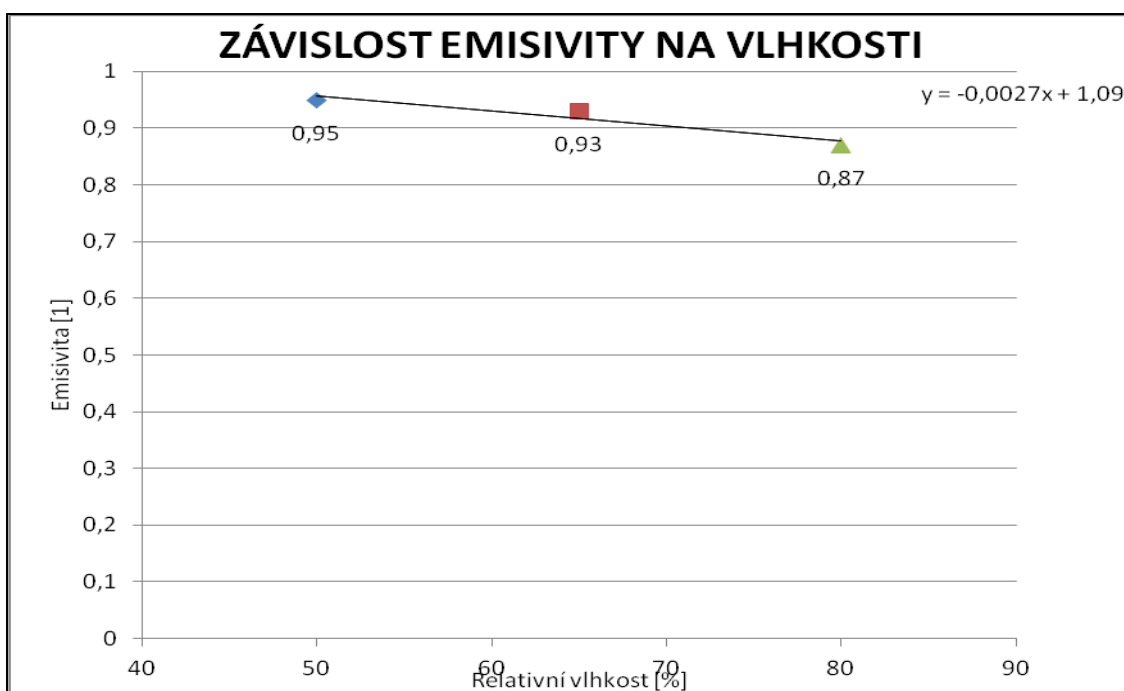
Podle kapitoly 4.2 byla pro materiál M8 a teplotu T1 byla zjištěna průměrná emisivita $\overline{E_{T1}} = 0,9$. Pro teplotu T2: $\overline{E_{T2}} = 0,93$ a pro teplotu T3 byla $\overline{E_{T3}} = 0,95$. U materiálu M8 je průměrná naměřená emisivita $\overline{E_{M8T}} = 0,93$.

Pro materiál M8 a relativní vlhkost RH1 byla zjištěna průměrná emisivita $\overline{E_{RH1}} = 0,95$. Pro relativní vlhkost RH2: $\overline{E_{RH2}} = 0,93$ a pro relativní vlhkost RH3: $\overline{E_{RH3}} = 0,87$. U materiálu M8 je průměrná naměřená emisivita $\overline{E_{M8RH}} = 0,92$.

Graf 15 zobrazuje závislost emisivity na změně teploty a Graf 16 zobrazuje závislost emisivity na změně relativní vlhkosti.



Graf 15 Závislost emisivity na teplotě pro M8



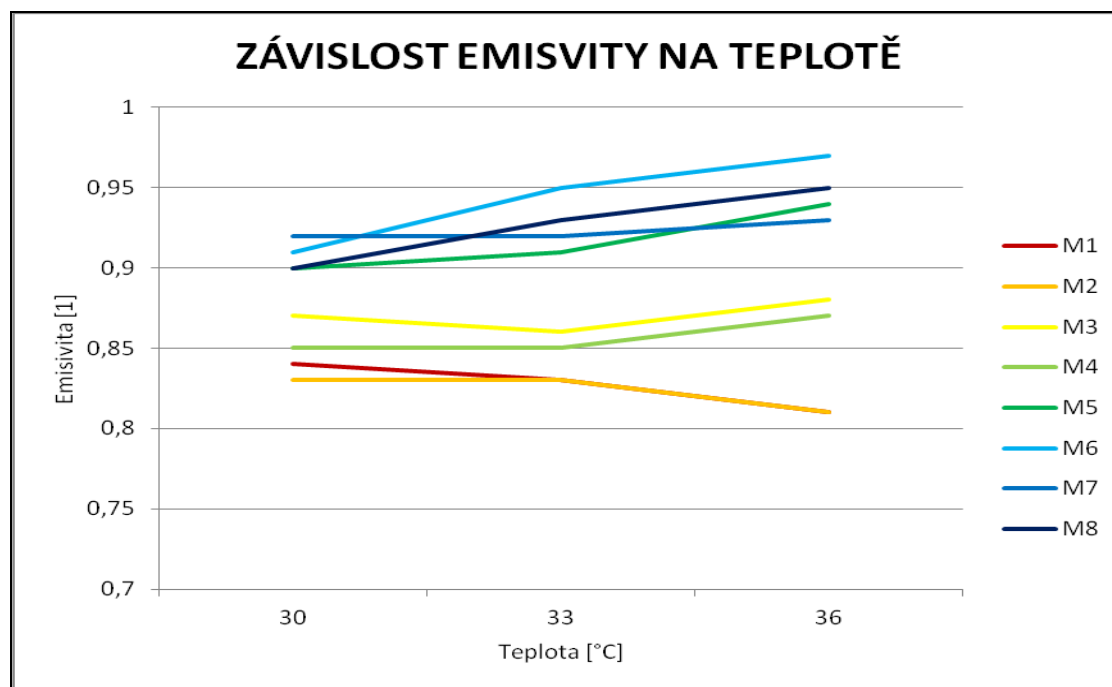
Graf 16 Závislost emisivity na relativní vlhkosti pro M8

4.3.6 HODNOCENÍ ZÁVISLOSTI EMISIVITY NA TEPLITĚ A BARVĚ

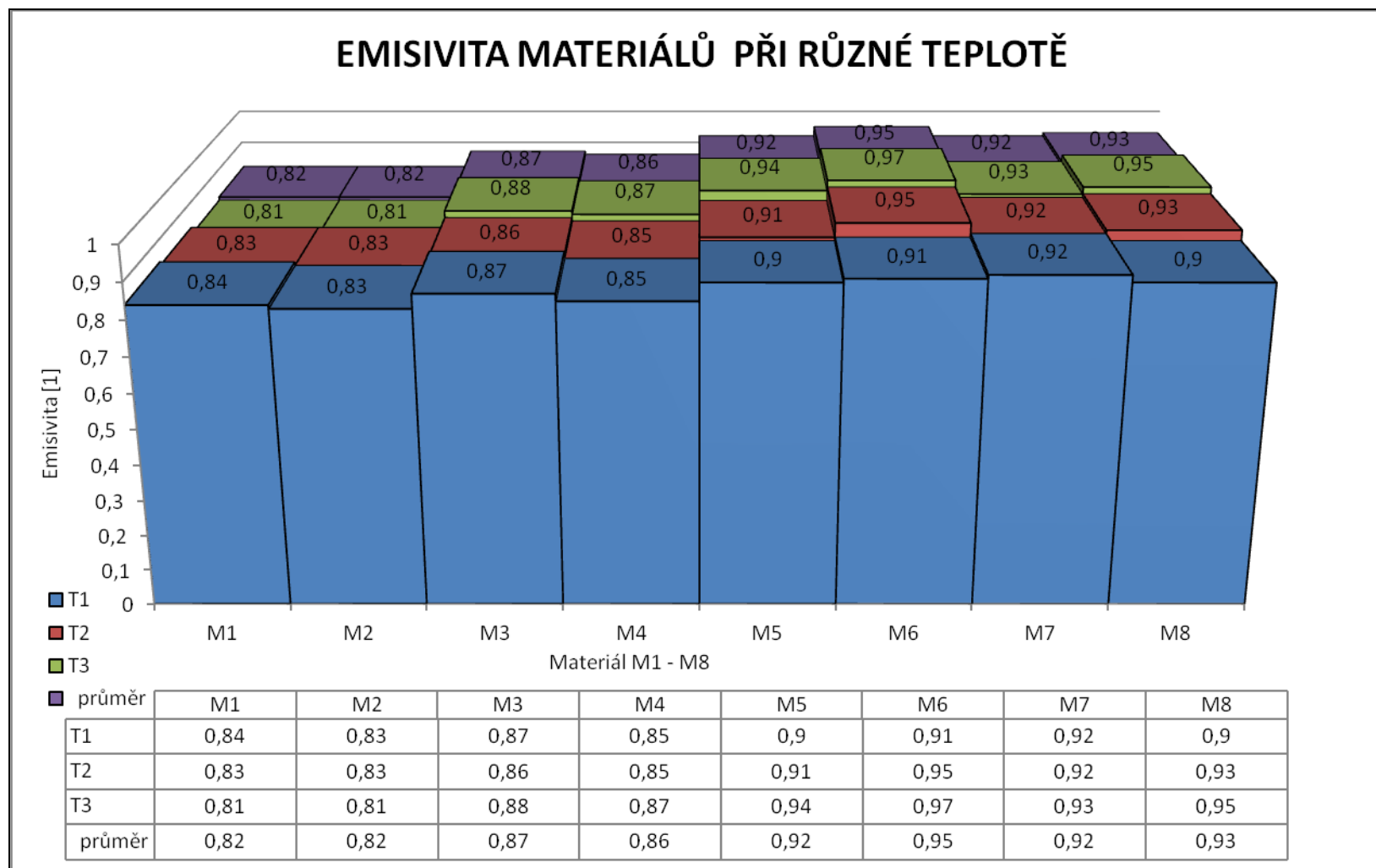
V průběhu experimentu byly hodnoceny materiály M1 – M8, které byly nasnímány termovizní kamerou při různé teplotě ($T_1=30\text{ °C}$, $T_2=33\text{ °C}$ a $T_3=36\text{ °C}$). Relativní vlhkost byla vždy stejná $RH=65\%$. Vzniklé snímky pak byly vyhodnocovány v programu Therma CAMTM Researcher. Data byla zpracována v software MS Office Excel. V níže uvedené tabulce (Tab. 6) je znázorněná emisivita pro různé teploty společně s průměrnou emisivitou materiálů.

Teplota / Emisivita	\overline{E}_{M1T}	\overline{E}_{M2T}	\overline{E}_{M3T}	\overline{E}_{M4T}	\overline{E}_{M5T}	\overline{E}_{M6T}	\overline{E}_{M7T}	\overline{E}_{M8T}
$T_1=30\text{ °C}, RH=65\%$	0,84	0,83	0,87	0,85	0,90	0,91	0,92	0,9
$T_2=33\text{ °C}, RH=65\%$	0,83	0,83	0,86	0,85	0,91	0,95	0,92	0,93
$T_3=36\text{ °C}, RH=65\%$	0,81	0,81	0,88	0,87	0,94	0,97	0,93	0,95
Průměrná emisivita	0,82	0,82	0,87	0,86	0,92	0,95	0,92	0,93

Tab. 6 Emisivita jednotlivých materiálů pro různé teploty



Obr. 31 Závislost emisivity na teplotě pro všechny materiály



Graf 17 Emisivita jednotlivých materiálů při různé teplotě

Z Obr. 31 je vidět, že existuje závislost mezi emisivitou a změnou teploty. Při změně teploty dochází ke změně emisivity. Ve většině případů s rostoucí teplotou roste i emisivita. Jenom u vzorku M1 a M2 (bavlna/polypropylen) emisivita s rostoucí teplotou klesá. Odchylka může být způsobená použitým materiálem.

Hodnota emisivity je pro různé materiály různá. Pro absolutně černé těleso je emisivita dle zpravodaje pro měření a regulaci (23) rovna 1 nebo 100%. Ve většině případů se její hodnota pohybuje od 0,01 do 0,99 nebo také od 1% do 99%. Organické materiály jsou dobrými emitory s emisivitou kolem 0,95. Nízkou emisivitu (kolem 20 %) mají leštěné kovy. V mém experimentu se emisivita jednotlivých materiálů pohybuje v rozmezí od 0,81 do 0,97. Nejnižší emisivitu mají vzorky M1 a M2 ($E = 0,81$). Nejvyšší emisivitu má vzorek M6 (100% polypropylen) ($E = 0,97$).

V průběhu změny teploty z 30 °C na 36 °C (teplota stoupla o 6 °C) emisivita u materiálu M1 klesla o 0,03. U materiálu M2 klesla o 0,02 a u materiálu M3 emisivita stoupla o 0,02. U materiálu M4 stoupla emisivita o 0,02. U materiálu M5 stoupla o 0,04 a u materiálu M6 stoupla o 0,06. U materiálu M7 emisivita stoupla o 0,01 a u materiálu M8 stoupla o 0,05. Při změně teploty se emisivita téměř nezměnila u materiálu M3 a M7. Změnila se jenom o 0,01. Emisivita byla nejvíce ovlivněna změnou teploty u materiálu M6. Změnila se o 0,06. I když se emisivita v průběhu měření měnila, nevznikají extrémní rozdíly při změně teploty. Proto si myslím, že změna teploty až tak neovlivní emisivitu. To samé je vidět i v tabulce emisivit ve zpravodaji pro měření a regulaci (23). Když zkoumáme například leštěný hliník v celém spektru při teplotě 50 – 100 °C (kde rozdíl teplot je 50 °C), zjistíme z tabulky, že emisivita se pohybuje od 0,04 do 0,06. Když ale koukneme na matný hliník při 70 °C, jeho emisivita stoupne na 0,61 – 0,97. Proto si myslím, že pro emisivitu není ani tak důležitá teplota, jako úprava povrchu materiálu.

Graf 17 znázorňuje emisivitu jednotlivých materiálů při změně teploty, která se pohybuje od 0,82 do 0,95. Nejnižší průměrnou emisivitu mají materiály M1 a M2 ($\overline{E}_{M1,2} = 0,82$). Nejvyšší hodnotu dosahuje materiál M6 ($\overline{E}_{M6} = 0,95$).

Graf 17 zobrazuje také *závislost průměrné emisivity na barvě*. Jak se mění emisivita materiálu při stejném složení, ale při různé barvě. Materiály M1 a M2 jsou materiály stejného složení (bavlna/polypropylen), ale různé barvy. M1 ($\overline{E}_{M1} = 0,82$) je červené barvy a M2 ($\overline{E}_{M2} = 0,82$) je modré barvy. Jejich emisivita je stejná. Materiály M3 a M4 mají také stejné složení (funkční polyester). M3 ($\overline{E}_{M3} = 0,87$) je žluté barvy a M4 ($\overline{E}_{M4} = 0,86$) je tmavě zelené barvy. Rozdíl v emisivitě je 0,01. Odchylka v emisivitě může být způsobená přesností kamery, která je ± 2 °C. Materiály M5 a M6 jsou složeny ze 100 % polypropylenu. M5 ($\overline{E}_{M5} = 0,92$) je bílé barvy a M6 ($\overline{E}_{M6} = 0,95$) je černé barvy. Mezi bílou a černou barvou materiálu je největší rozdíl v emisivitě (0,03).

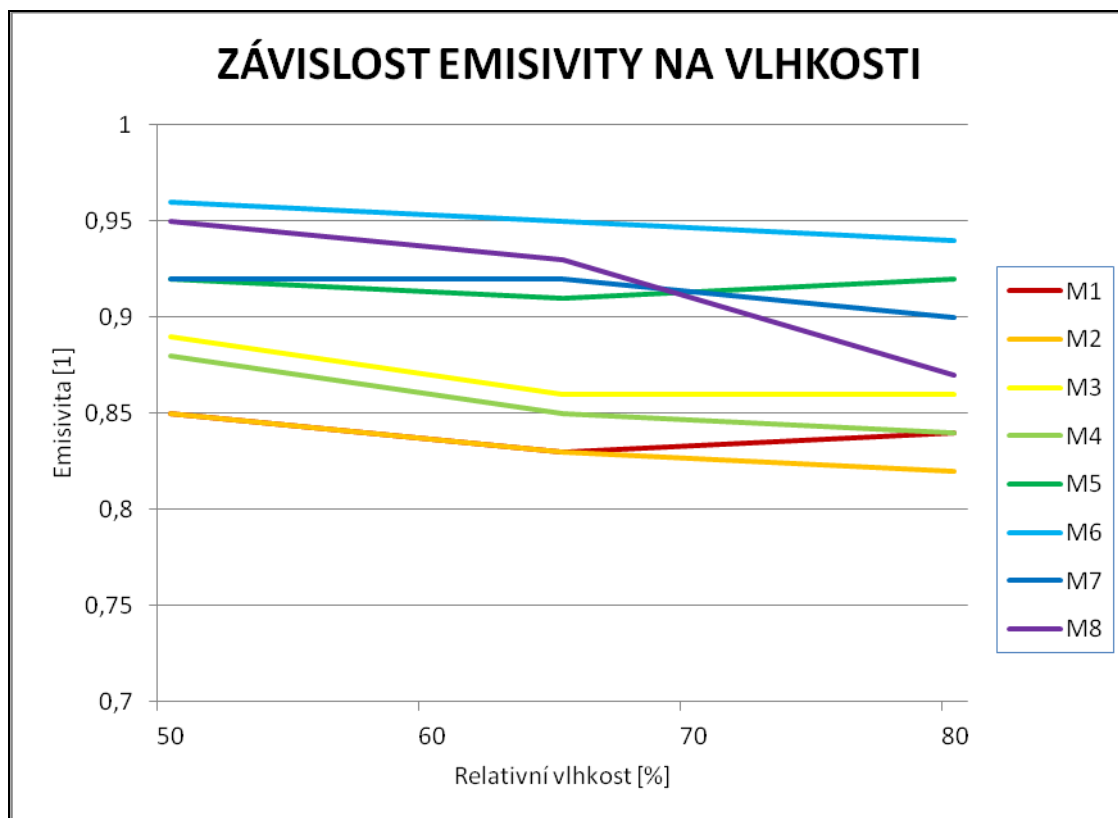
[23]

4.3.7 HODNOCENÍ ZÁVISLOSTI EMISIVITY NA RELATIVNÍ VLHKOSTI A BARVĚ

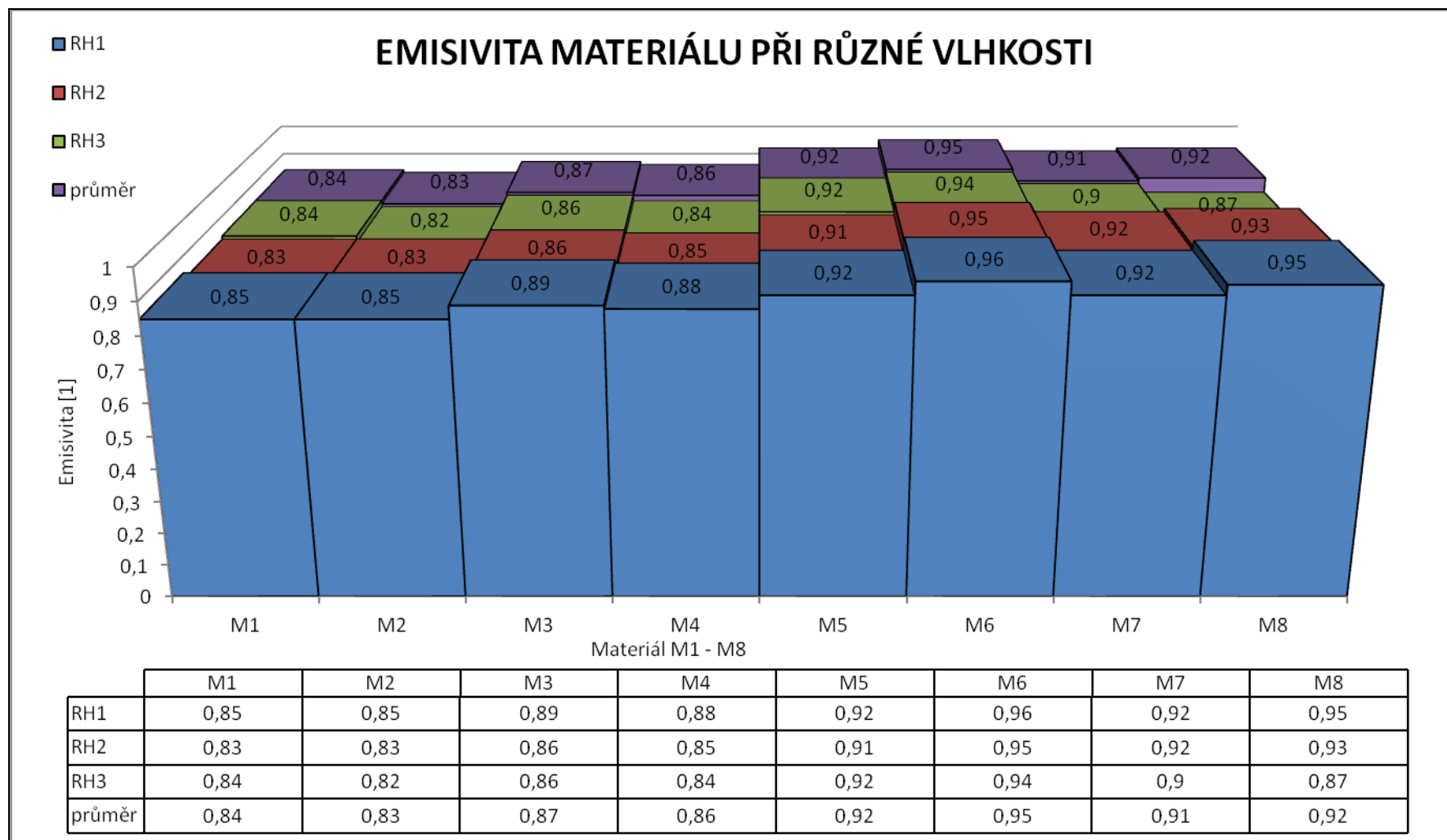
V průběhu experimentu byly hodnoceny materiály M1 – M8, které byly nasnímány termovizní kamerou při různé relativní vlhkosti (RH1 = 50 %, RH2 = 65 % a RH3 = 80 %). Teplota se neměnila $T = 33$ °C. Vzniklé snímky pak byly vyhodnoceny v programu Therma CAMTM Researcher. Data byla zpracována v software MS Office Excel. V níže uvedené tabulce (Tab. 7) je znázorněná emisivita pro různé teploty společně s průměrnou emisivitou materiálu.

<i>Relativní vlhkost / Emisivita</i>	\overline{E}_{M1RH}	\overline{E}_{M2RH}	\overline{E}_{M3RH}	\overline{E}_{M4RH}	\overline{E}_{M5RH}	\overline{E}_{M6RH}	\overline{E}_{M7RH}	\overline{E}_{M8RH}
<i>RH1=50 %,T=33 °C</i>	0,85	0,85	0,89	0,88	0,92	0,96	0,92	0,95
<i>RH2=65 %,T=33 °C</i>	0,83	0,83	0,86	0,85	0,91	0,95	0,92	0,93
<i>RH3=80 %,T=33 °C</i>	0,84	0,82	0,86	0,84	0,92	0,94	0,9	0,87
<i>Průměrná emisivita</i>	0,84	0,83	0,87	0,86	0,92	0,95	0,91	0,92

Tab. 7 Emisivita jednotlivých materiálů pro různou relativní vlhkost



Obr. 32 Závislost emisivity na relativní vlhkosti pro všechny materiály



Graf 18 Emisivita jednotlivých materiálů při různé relativní vlhkosti

Z Obr. 32 je vidět, že existuje závislost mezi emisivitou a změnou relativní vlhkosti. Při změně vlhkosti dochází ke změně emisivity. Z rostoucí relativní vlhkosti klesá emisivita. V experimentu se pohybuje relativní vlhkost v rozmezí od 0,82 do 0,96. Nejnižší emisivitu má vzorek M2 ($\overline{E_{M2RH}} = 0,82$). Nejvyšší emisivitu má vzorek M6 ($\overline{E_{M6RH}} = 0,96$). V průběhu změny relativní vlhkosti z 50 % na 80 % (relativní vlhkost se změnila o 30 %) emisivita u materiálu M1 klesla o 0,02 a u materiálu M2 klesla o 0,03. U materiálu M3 klesla hodnota také o 0,03 a u materiálu M4 se změnila o 0,04. U materiálu M5 emisivita klesla o 0,01. Emisivita materiálu M6 se změnila o 0,02, emisivita M7 se zvýšila o 0,02 a hodnota M8 se zvýšila o 0,08. Při změně relativní vlhkosti se emisivita téměř nezměnila u materiálu M5 (změnila se jenom o 0,01). Nejvíce se změnila u materiálu M8, kdy se změnila o 0,08.

Z Tab. 7 je vidět, že se emisivita v průběhu změny relativní vlhkosti měnila. Nevznikají ale extrémní rozdíly. Proto si myslím, že změna relativní vlhkosti až tak moc neovlivní emisivitu daného materiálu.

Graf 18 zobrazuje průměrnou emisivitu jednotlivých materiálů při změně relativní vlhkosti, která se pohybuje od 0,83 do 0,95. Nejnižší průměrnou emisivitu má materiál M2 (0,83). Nejvyšší hodnotu má materiál M6 (0,95). Graf také zobrazuje *závislost průměrné emisivity na barvě*. Jak se mění emisivita materiálu při stejném složení, ale při různé barvě. Materiály M1 a M2 jsou materiály stejného složení (bavlna/polypropylen), ale různé barvy. M1 ($\overline{E_{M1RH}} = 0,84$) je červené barvy a M2 ($\overline{E_{M2RH}} = 0,83$) je modré barvy. Při změně vlhkosti se také změní jejich emisivita. Rozdíl je 0,01, emisivita je přibližně stejná. Odchylna může být způsobená přesností kamery, která je výrobcem daná (± 2 °C). Materiály M3 a M4 mají také stejné složení (funkční polyester). M3 ($\overline{E_{M3RH}} = 0,87$) je žluté barvy a M4 ($\overline{E_{M4RH}} = 0,86$) je zelené barvy. Rozdíl v emisivitě je 0,01. Rozdíl v emisivitě je také zanedbatelný. Materiály M5 a M6 jsou složeny ze 100 % polypropylenu. M5 ($\overline{E_{M5RH}} = 0,92$) je bílé barvy a M6 ($\overline{E_{M6RH}} = 0,95$) je černé barvy. Mezi bílou a černou barvou materiálu je největší rozdíl v emisivitě (0,03).

Emisivita jednotlivých materiálů se se změnou teploty nebo relativní vlhkosti mění minimálně. Rozdíl v emisivitě se pohybuje v setinách. Z výše uvedených tabulek (Tab. 6, Tab. 7) byla vypočítána emisivita jednotlivých materiálů a byla navržena tabulka emisivit pro jednotlivé materiály.

<i>Materiál</i>	<i>Složení</i>	<i>Doporučená emisivita</i>	<i>Emisivita při $T = 33\text{ }^{\circ}\text{C}$</i>
M1	bavlna/polypropylen	0,83	0,83
M2	bavlna/polypropylen	0,83	0,83
M3	funkční polyester	0,87	0,86
M4	funkční polyester	0,86	0,85
M5	100 % polypropylen	0,92	0,91
M6	100 % polypropylen	0,95	0,95
M7	95 % bambus / 5 % lycra	0,91	0,92
M8	vlna merino	0,92	0,93

Tab. 8 Doporučená tabulka emisivit

5 VYHODNOCENÍ TEPLOTNÍCH POLÍ U TERMOPRÁDLA POMOCÍ TERMOVIZNÍ KAMERY

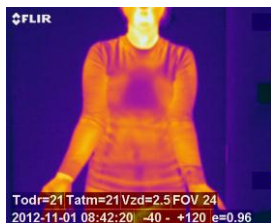
Poslední část experimentu se týkala vyhodnocení teplotních polí u termoprádla při zátěži pomocí měření termovizní kamerou. Infračervená termografie je obor, který se zabývá analýzou rozložení teplotního pole na povrchu tělesa bezkontaktním způsobem. Teplotním polem se rozumí prostor, v jehož každém místě je definovaná zcela určitá termodynamická teplota, za stacionárních podmínek konstantní, za nestacionárních podmínek časově proměnlivá. Teplotní pole je polem skalárním.

Experiment probíhal v klimatizované místnosti na katedře oděvnictví (laboratoř komfortu). Teplota místnosti byla nastavena na $21\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ a relativní vlhkost byla nastavena na $65\% \pm 4\%$. Do místnosti byl umístěn rotoped, na kterém proband prováděl fyzickou aktivitu po dobu 60 minut. Rotoped umožňuje nastavovat různou zátěž v rozmezí od nejnižší 1 až po nejvyšší zátěž 8, kontroluje tepovou frekvenci,

ukazuje rychlost, spálené kalorie a také ukazuje čas šlapání a ujetou vzdálenost. V experimentu byla zvolena střední zátěž 4. Proband celou dobu udržoval tep v rozmezí od 127 do 147 tepů za minutu. Dle přerovského sportovního centra (30) proband vykonával lehkou až střední intenzitu cvičení, viz také příloha č. 9. V rámci měření bylo testované termoprádlo KVENA 830 THS. Technické parametry jsou uvedeny v příloze č. 2. Velikost termoprádla odpovídala konfekční velikosti probanda. Tričko přiléhalo k tělu. Před vlastním měřením bylo termoprádlo umístěno do klimatizované místnosti na 30 min. Po třiceti minutách si proband oblékl termoprádlo a dalších 30 minut setrval v klidu (bez fyzické námahy) v klimatizované místnosti. Po třiceti minutách byl proband nasnímán v horní části těla termovizní kamerou z různých stran (Obr. 33, Obr. 34, Obr. 35, Obr. 36). Vzdálenost termovizní kamery od probanda byla 2 500 mm. Po vytvoření první čtveřice snímku proband usedl na rotoped do předepsané polohy (Obr. 38). Dlaně jsou v přímém kontaktu s čidlem pro měření tepu, lokty jsou mírně ohnuté. Proband začal po dobu 15 minut šlapat na rotopedu. Po 15 minutách byly vytvořeny další čtyři snímky termovizní kamerou (zepředu, z levého boku, zezadu a z pravého boku). Stejný postup se ještě opakoval 2 krát. Získané snímky byly vyhodnoceny v programu Thermo CAMTM Researcher. Výsledky měření byly vyhodnoceny v software MS Office Excel. Pro termoprádlo byla stanovena emisivita $\bar{E} = 0,92$ (stejná emisivita jako doporučená emisivita pro materiál M8).

Na celkový průběh měření má vliv i proband. Záleží na jeho fyzické kondici, na věku, na zdravotním stavu, na pohlaví, ...

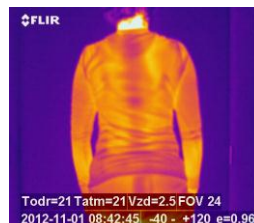
Charakteristika probanda: žena ve věku 30 let, dobrý zdravotní stav (žádná nemoc), rekreační sportovec.



Obr. 33 Snímek vytvořený termovizní kamerou zepředu



Obr. 34 Snímek vytvořený termovizní kamerou z levé strany



Obr. 35 Snímek vytvořený termovizní kamerou zezadu



Obr. 36 Snímek vytvořený termovizní kamerou z pravé strany



Obr. 37 Proband nasnímaný termovizní kamerou



Obr. 38 Proband nasnímaný digitálním fotoaparátem

[30, 31]

5.1 POSTUP MĚŘENÍ

1. Ponechat termoprádlo v klimatizované místnosti s teplotou $21\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ a relativní vlhkostí $65\% \pm 4\%$ po dobu 30 minut.
2. Proband si oblékne termoprádlo a po dobu dalších 30 minut se aklimatizuje v klidu v klimatizované místnosti.
3. Připravit termovizní kameru a nastavit její parametry:
 - teplota atmosféry: 21 °C
 - vzdálenost od měřeného objektu: 2 500 mm
 - relativní vlhkost: 65%
 - teplota zdánlivě odražená: 21 °C
4. Nasnímat probanda pomocí termovizní kamery zepředu, z levého boku, zezadu a z pravého boku (Obr. 33, Obr. 34, Obr. 35, Obr. 36).
5. Usadit probanda do předepsané pozice, dlaně jsou v přímém kontaktu s čidlem pro měření tepu, lokty jsou mírně pokrčeny (Obr. 38)
6. Proband začíná vykonávat fyzickou aktivitu po dobu 15 minut (zátěž na rotopedu je střední 4 a tepová frekvence je 127 – 147 tepů za min).
7. Po uplynutí 15 minut nasnímat probanda termovizní kamerou zepředu, z levého boku, zezadu a z pravého boku.
8. Proband koná fyzickou aktivitu dalších 15 minut za stejných podmínek.
9. Nasnímat probanda termovizní kamerou zepředu, z levého boku, zezadu a z pravého boku.
10. Proband koná další fyzickou aktivitu 15 minut za stejných podmínek.

11. Nasnímat probanda termovizní kamerou zepředu, z levého boku, zezadu a z pravého boku.

12. Přenést data do počítače a vyhodnotit snímky v programu **Therma CAMTM**

Researcher:

- otevřít program Therma CAMTM Researcher
- najít a zobrazit získané snímky pomocí příkazu **Open images**
- změnit hodnotu emisivity pomocí příkazu **Settings images, object parameters** na 0,92
- vytvořit na jednotlivých snímcích tzv. mapy:

Snímek zepředu	AR01 – AR48
Snímek z levého boku	AR01 – AR38
Snímek zezadu	AR01 – AR16
Snímek z pravého boku	AR01 – AR38, viz příloha č. 10
- pomocí příkazu **results – analysis** zobrazit analýzu jednotlivých snímků, která kromě jiného zobrazuje také povrchovou teplotu snímků
- zapsat jednotlivé hodnoty do tabulky
- porovnat jednotlivé snímky mezi sebou
- vyhodnotit získaná data.

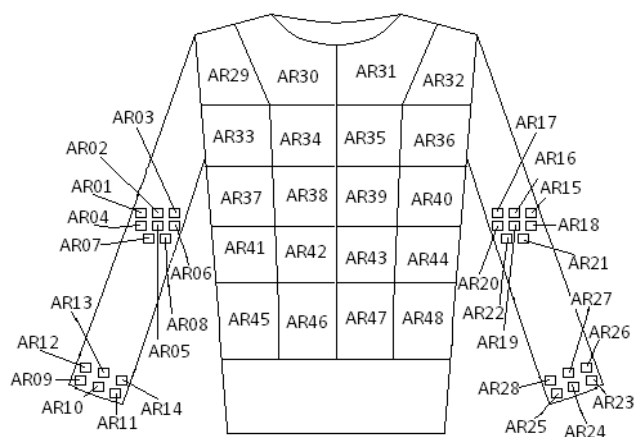
5.2 VYHODNOCENÍ EXPERIMENTU

V níže uvedených tabulkách je znázorněná průměrná teplota jednotlivých map na předním díle, v oblasti loktů, v oblasti zápěstí, v oblasti levého podpaží, na zadním díle a v oblasti pravého podpaží. První sloupec v tabulce popisuje jednotlivé mapy na snímcích, druhý sloupec ukazuje průměrnou teplotu jednotlivých map před měřením, třetí sloupec znázorňuje průměrnou teplotu po 15 minutách, čtvrtý sloupec znázorňuje průměrnou teplotu map po 30 minutách, pátý sloupec znázorňuje průměrnou teplotu po 45 minutách fyzické aktivity a poslední sloupec znázorňuje průměrnou teplotu jednotlivých map po 60 minutách. V příloze č. 10 je znázorněná tabulka teplot pro jednotlivé mapy společně se snímky z termovizní kamery.

5.2.1 TEPLITNÍ POLE V OBLASTI PŘEDNÍHO DÍLU, LOKTŮ A ZÁPĚSTÍ

V níže uvedených tabulkách (Tab. 9, Tab. 10, Tab. 11) je zobrazena průměrná teplota jednotlivých map, které také znázorňují jednotlivá teplotní pole na předním díle, v oblasti loktů a v oblasti zápěstí.

V oblasti pravého loktu (AR01 až AR08) se povrchová teplota termoprádla v průběhu měření viditelně změnila až po 60 minutách. Teplota v průměru klesla o 2,48 °C. Další zkoumanou oblastí byla oblast pravého zápěstí (AR09 až AR14). Po prvních patnácti minutách se sledovaná oblast mírně zahřála, pak se začala oblast mírně ochlazovat. Za 60 minut se oblast ochladila o 2,5 °C. V oblasti levého loktu (AR15 až AR22) se povrchová teplota termoprádla v průběhu měření změnila v průměru o 2,43 °C. Povrchová teplota v oblasti levého zápěstí (AR23 až AR28) se v průběhu patnácti minut zvýšila, dalších 30 minut si držela přibližně stejnou teplotu. Nakonec teplota klesla. V průběhu měření se teplota termoprádla změnila v průměru o 2,63 °C. Ze získaných dat je patrné, že průměrná povrchová teplota v oblasti loktů a zápěstí je pro pravou a levou horní končetinu stejná. Při zkoumání teplotních polí předního dílu (AR29 až AR48) se povrchová teplota termoprádla, po 15 minutách fyzické aktivity, téměř všude zvýšila. V důsledku konání fyzické aktivity se proband zahřívá a zvyšuje se i povrchová teplota termoprádla. Po dalších 15 minutách už povrchová teplota trička klesla. Po 60 minutách fyzické aktivity se teplota v průměru změnila o 4,12 °C. Největší změny nastaly na konci měření v oblasti AR40 až AR 48.



Obr. 39 Tzv. mapy vytvořené v oblasti předního dílu, loktů a zápěstí

	1.	2.	3.	4.	5.
AR01	27,3	27,3	28,5	28,5	25,2
AR02	28,9	28,5	28,1	28,1	26,2
AR03	28,9	28,7	29,2	29,3	27
AR04	28,8	28,6	29,1	29,1	26,1
AR05	28,9	29,1	28,8	28,4	26,1
AR06	29	28,6	29	29,1	27
AR07	29,6	29,3	29,9	29,5	26,8
AR08	29,6	29,4	30,2	30,1	28,1
AR09	27,6	30,1	29,9	29,6	27,4
AR10	28	29	29,3	29,3	26,7
AR11	28	28,5	28,7	28,7	26,3
AR12	27,9	30,2	30	30	27,6
AR13	28,4	29,7	29,3	29,3	27,2
AR14	28,6	29,1	28,9	28,9	26,7

Tab. 9 Přehled průměrných teplot v oblasti pravého lokte a zápěstí

	1.	2.	3.	4.	5.
AR29	26,9	30,2	29,2	29,2	26,7
AR30	28,1	30,3	29,4	29,5	26,8
AR31	28,5	30,4	29,4	29,6	26,8
AR32	26,5	30,2	28,9	28,8	26,4
AR33	27,4	28,9	27,4	27,6	24,9
AR34	26,7	29	27,6	27,8	25,6
AR35	26,8	29,1	28,2	28,3	26,1
AR36	26,8	29,1	27,6	27,7	25,1
AR37	27,6	27,5	26,6	26,6	24,1
AR38	25,7	26,9	26,1	26,1	24

Tab. 11 Přehled průměrných teplot na předním díle

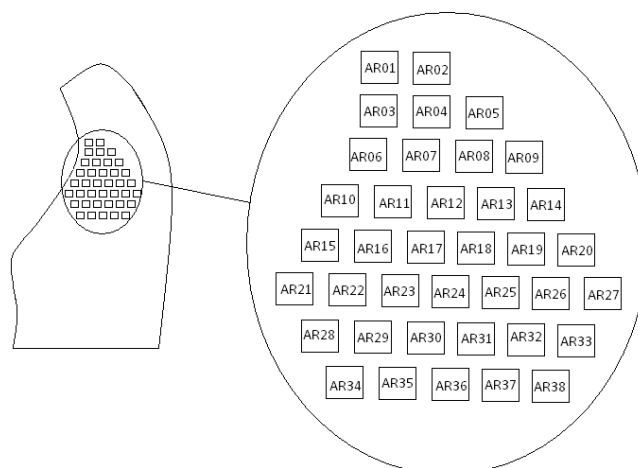
	1.	2.	3.	4.	5.
AR15	26,9	27	28,4	28,2	25,7
AR16	28,4	28	28,3	28,5	26
AR17	29,2	28,8	29,2	29,1	26,9
AR18	26,5	27,2	28	27,8	25,5
AR19	28	28,4	28,1	27,8	26,1
AR20	28,9	28,4	28,8	28,7	26,4
AR21	29,2	28,4	28,8	28,8	27,4
AR22	29,8	29,3	29,2	29	26,8
AR23	26,6	28,3	28,3	28,5	26,6
AR24	27,8	28,5	29	28,9	26,6
AR25	27,6	28,2	28,2	28	25,2
AR26	26,8	28,4	28,9	29	26,9
AR27	27,5	29,1	29,1	29,1	26,2
AR28	27,3	28,4	28,1	28	25

Tab. 10 Přehled průměrných teplot v oblasti levého lokte a zápěstí

	1.	2.	3.	4.	5.
AR39	25,9	27,2	26,3	26,4	24,4
AR40	28,4	28,2	27	27,1	24,8
AR41	28,3	29,3	27,7	27,4	24,3
AR42	28,5	29,7	26,4	26,4	22,8
AR43	28,2	29,7	25,9	25,9	23,2
AR44	28,3	29,3	26,7	26,9	24,5
AR45	28	28,3	27,7	27,6	24,7
AR46	28,1	27,9	26,8	26,7	23,3
AR47	28,2	28	26,2	26,1	23,1
AR48	28	28,8	27,3	27,3	24,7

5.2.2 TEPLITNÍ POLE V OBLASTI LEVÉHO PODPAŽÍ

V níže uvedené tabulce (Tab. 12) je zobrazena průměrná teplota jednotlivých teplotních polí (takzvaných map) v oblasti levého podpaží (AR01 až AR38). Povrchová teplota termoprádla v průběhu měření klesla v průměru o 3,58 °C. Pokles povrchové teploty je znázorněn na snímcích v příloze č. 10. K největším změnám povrchové teploty došlo v oblasti AR03 až AR13, pak v oblasti AR15 až AR19 a v oblasti AR24 a AR25.



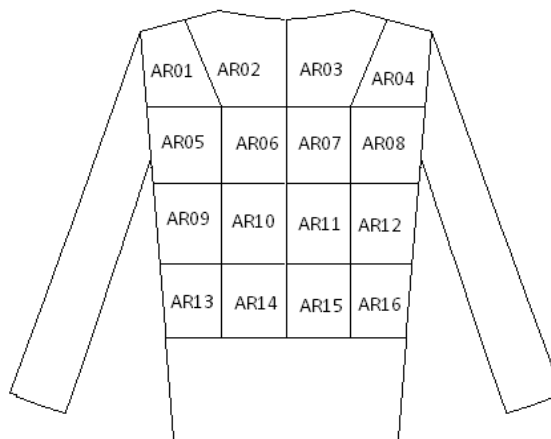
Obr. 40 Tzv. mapy vytvořené v oblasti levého podpaží

	1.	2.	3.	4.	5.
AR01	29,1	27,5	26,8	28,1	26
AR02	28,1	27,6	27,8	26,5	26,2
AR03	29	28,2	27,8	30,2	26
AR04	29,6	27,2	27,3	27,6	24,8
AR05	28,2	27,7	27,8	27,8	24,3
AR06	28,4	30,7	29,6	31,9	25,8
AR07	29,5	28	27,6	29,9	25,2
AR08	29,1	27,8	27,8	28,3	24
AR09	28,7	27,8	27,9	28,5	25
AR10	28	30,4	30,8	31,6	28,1
AR11	29,1	30	29,1	31,8	26,5
AR12	30	27,9	28,7	30,2	25,2
AR13	29,6	28,4	28,1	29,5	24,4
AR14	29	27,9	28,1	29,2	26,4
AR15	27,4	29,3	29,7	29,3	30,9
AR16	28,4	29,7	31	32,2	29,2
AR17	29,9	29,2	29,6	32,4	27,3
AR18	30,2	28,8	29,2	31,2	25,4
AR19	29,7	28,6	28,4	30,1	25,3
AR20	28,5	28	27,6	29,7	26,8
AR21	27,5	28,9	28,6	29,7	29,4
AR22	27,1	28,8	29,1	31,1	31,1
AR23	28,7	28,8	29,1	31,9	29,2
AR24	29,7	29,3	29	31,9	27,3
AR25	29,7	29,6	29	30,6	26,5
AR26	29,1	28,6	28,3	29,4	26,2
AR27	28,7	27,8	27,9	29,5	27,2
AR28	27,6	28,3	28,1	29,6	30
AR29	27,8	27,6	28,4	30,5	29,6
AR30	28,8	28,2	29,2	30,2	29,3
AR31	29,2	29	29,4	30,2	27,9
AR32	29,1	29	28,4	30	27,6
AR33	29	28,3	27,7	30,1	27,3
AR34	28,2	27,7	27,9	28,5	30,6
AR35	28,6	27,4	28,4	29,2	30,3
AR36	29	27,7	28,8	29,8	29,2
AR37	28,9	28,2	28,5	30	28,2
AR38	29	28,3	27,6	30	27,1

Tab. 12 Přehled průměrných teplot v oblasti levého podpaží

5.2.3 TEPLITNÍ POLE V OBLASTI ZADNÍHO DÍLU

V níže uvedené tabulce (Tab. 13) je zobrazena průměrná povrchová teplota termoprádla, tzv. map, v oblasti zadního dílu. Zadní díl byl rozdělen na 16 menších map (AR01 až AR16). Na konci měření klesla povrchová teplota v průměru o 3,48 °C. Nejvíce se povrchová teplota v průběhu 60 minut změnila v oblasti AR09 až AR16.



Obr. 41 Tzv. mapy vytvořené v oblasti zadního dílu

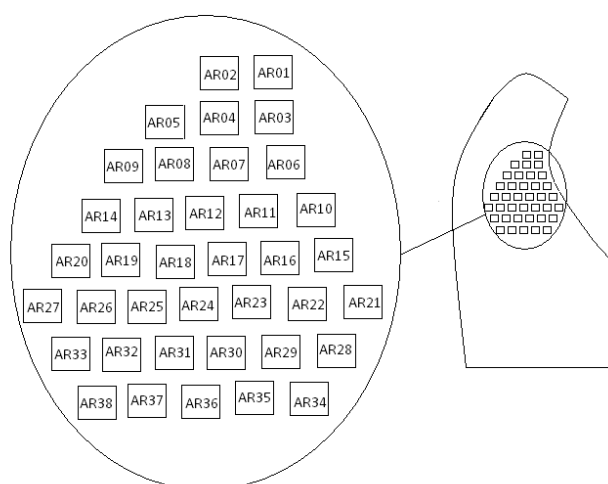
	1.	2.	3.	4.	5.
AR01	28,2	29,2	28	29	26,5
AR02	27,5	30,7	28,7	29,2	27,6
AR03	28,2	30,2	28,8	29,5	27,2
AR04	27,6	28,8	27,7	29,2	26
AR05	28,6	28,9	27,5	28,8	25,5
AR06	27,9	28	27,3	28,9	26,3
AR07	27,8	27,9	26,9	28,7	26
AR08	28,2	29,2	27,6	28,9	26,1

	1.	2.	3.	4.	5.
AR09	28,5	28,3	27	27,4	24,8
AR10	28,1	28	26,4	27	24,3
AR11	27,9	27,8	25,9	26,6	24,1
AR12	28,3	28,7	26,7	27,3	25,2
AR13	27,7	27,4	25,8	25,6	23,8
AR14	28,3	27,2	25,7	25,2	23,6
AR15	27,8	26,5	25	24,7	23,2
AR16	27,5	26,8	25,4	25,6	23,8

Tab. 13 Přehled průměrných teplot v oblasti zadního dílu

5.2.4 TEPLITNÍ POLE V OBLASTI PRAVÉHO PODPAŽÍ

V níže uvedené tabulce (Tab. 14) je zobrazena průměrná povrchová teplota jednotlivých map v oblasti pravého podpaží (AR01 až AR38). Oblast byla rozdělena do 38 menších oblastí. V průběhu měření klesla povrchová teplota termoprádla v průměru o 3,62 °C.



Obr. 42 Tzv. mapy vytvořené v oblasti pravého podpaží

	1.	2.	3.	4.	5.
AR01	31,3	29,5	29	28,9	25,5
AR02	29,7	28,7	27,5	28	24,5
AR03	32,3	29,8	30,4	30,8	28
AR04	31,4	29,4	29,7	29,5	27,2
AR05	29,5	28,6	27,8	29,2	25
AR06	31,1	31,6	29,9	33,2	28,2
AR07	32,5	30,4	33,3	30,6	30,3
AR08	31,5	29,4	28,9	30,2	27,5
AR09	30	28,2	28,9	29,9	26
AR10	30,4	32,4	28,6	32,5	26,8
AR11	32,3	32,5	32,9	31,5	31
AR12	32,9	30,9	32	29,8	30,2
AR13	31,9	29,9	29	29,7	27,2
AR14	30,5	28,9	28,8	29,2	27,1
AR15	29,9	30,3	27	29,8	25,7
AR16	31,2	32,9	30,7	30,8	28,9
AR17	32,7	32,5	31,7	30	30,3
AR18	32,5	31,3	29,3	29,7	28,3
AR19	31,5	30,1	28,9	28,5	26,6

	1.	2.	3.	4.	5.
AR20	29,7	29,8	28,5	27,5	26,7
AR21	29,6	29	27,4	27,7	25,3
AR22	30,9	31,9	28,6	29,2	27,2
AR23	31,2	32,3	29,4	29,5	27,8
AR24	31,8	31,8	29,4	29,7	27,5
AR25	31,3	30,8	29,2	29,8	26,5
AR26	29,8	30,1	28,9	29	26,2
AR27	27,6	29,2	27,3	28	25,4
AR28	30,4	30,7	27,4	28,5	25,1
AR29	31,6	31,4	28,5	29,3	25,6
AR30	31,3	31,7	29	29	26,1
AR31	30,9	31,4	29	29,3	26,2
AR32	30,3	30,5	28,6	29,6	26,9
AR33	28,7	28,2	28,3	29,3	26,6
AR34	30,6	30,6	27,4	28,9	24,4
AR35	31	31,1	28,6	29	25,2
AR36	30,8	31,3	28,8	29,4	25,7
AR37	30,2	30,7	28,7	29,3	26,5
AR38	29,1	29,4	28,5	29,4	26,9

Tab. 14 Přehled průměrných teplot v oblasti pravého podpaží

5.2.5 SOUHRNNÉ VYHODNOCENÍ EXPERIMENTU

Při měření je důležité, aby proband stál vždy ve stejné poloze na všech snímcích. Proto je důležité určit orientační body, podle kterých se bude proband řídit při snímání termovizní kamerou. Stejná poloha probanda je důležitá při vyhodnocování teplotních polí jednotlivých snímků v programu Thermo CamTM Researcher. Rozvržení jednotlivých map v experimentu pokryje všechny důležité oblasti, kde se mění povrchová teplota. Rozdělení celkového času na jednotlivé etapy (v experimentu byl celkový čas rozdělen na čtyři patnáctiminutové etapy) ukáže změnu povrchové teploty termoprádla v čase. Z jednotlivých snímků a také z tabulek průměrných povrchových teplot je vidět, že proband se při fyzické námaze zpočátku zahřívá a zvyšuje se povrchová teplota trička. V konečném důsledku dochází ke snížení povrchové teploty trička.

K poklesu povrchové teploty termoprádla dochází v důsledku termoregulace. Aby tělo udrželo svoji termoregulaci a nedošlo k přehřátí, člověk se začne při zvýšené fyzické námaze potit, dochází k odpařování potu a tělo se začíná ochlazovat. Pot tričko

odvádí od těla. Kdyby měl proband i další funkční vrstvy, které zvyšují komfort, z termoprádla by se odváděl pot do další vrstvy. Protože měl proband jenom jednu funkční vrstvu (termoprádlo) pot se vysrážel na tričku. Proto klesla jeho povrchová teplota.

6 ZÁVĚR

Diplomová práce se věnovala problematice zjišťování neznámé hodnoty emisivity, která je důležitá pro nezkreslené určení povrchové teploty objektů a vyhodnocování teplotních polí u oděvů při měření pomocí termovizní kamery. Měření termovizní kamerou se řídí zákony termodynamiky a zákony záření. V teoretické části jsem se věnovala termodynamickým zákonům, záření a bezkontaktnímu měření povrchu materiálu.

V experimentální části byla doporučena metoda zjišťování neznámé hodnoty emisivity povrchu textilního materiálu dodatečným použitím materiálu, nebo speciálního nátěru. Ke zjištění emisivity daného materiálu byl použit lepicí štítek ThermoSpot s emisivitou $E = 0,96$. Pomocí metody byla zjištěna emisivita zkoumaných materiálů ($E_{M1} = 0,83$ $E_{M2} = 0,83$ $E_{M3} = 0,87$ $E_{M4} = 0,86$ $E_{M5} = 0,92$ $E_{M6} = 0,95$ $E_{M7} = 0,91$ a $E_{M8} = 0,92$) a byla vytvořena tabulka pro emisivitu jednotlivých materiálů. Při zkoumání závislosti emisivity na teplotě a relativní vlhkosti jsem ze získaných dat došla k závěrům, že emisivita se se změnou teploty nebo relativní vlhkosti nemění. Vzorby byly klimatizovány v klimatizační komoře na danou teplotu (30 °C, 33 °C a 36 °C), nebo relativní vlhkost (50 %, 65 % a 80 %). V experimentální části byla také navržena metoda vyhodnocení teplotních polí u termoprádla při zátěži. Proband vykonával fyzickou aktivitu po dobu 60 minut. Před vlastním měřením a v průběhu měření byl snímán termovizní kamerou z různých stran. Na vzniklých snímcích byly vytvořeny tzv. mapy (v oblasti předního dílu, v oblasti loktů a zápěstí, v oblasti levého podpaží, v oblasti zadního dílu a v oblasti pravého podpaží), které vyhodnocovali teplotní pole termoprádla. Ve všech zkoumaných oblastech dochází ke snížení povrchové teploty testovaného trička.

Metoda zjišťování emisivity společně s metodou hodnocení teplotních polí trička se může v budoucnu využít při hodnocení komfortu při použití termovizní kamery. První metoda se také může využít při jiných experimentech, kde se měří povrchová teplota termovizní kamerou, a my neznáme emisivitu povrchu.

. V průběhu práce jsem pracovala s termovizní kamerou Therma CamTM S60. Data byla zpracována v programu Therma Cam Researcher a MS Office Excel.

7 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] HORÁK, Zdeněk, František KRUPKA a Václav ŠINDELÁŘ. *Technická fyzika*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1961. 1434 s.
- [2] SOŠKA, František. *Fyzika pro posluchače strojní fakulty. 2. Díl*. Liberec: VŠST, 1973. 232 s
- [3] NOŽIČKA, Jiří. *Základy termomechaniky*. Praha: České vysoké učení technické, 2008. 187 s. ISBN 978-80-01-04022-5.
- [4] WAGNER, Jiří a Antonín KOPAL. *Fyzika 1*. Liberec: VŠST, 1993. 238 s. ISBN 80-7083-116-2.
- [5] STŘEDA, Ivo. *Základy rovnovážné termodynamiky*. Liberec: Technická univerzita, 2009. 174 s. ISBN 978-80-7372-459-7.
- [6] KOCHMAN, Jozef. *Tepelná mechanika: Učební text pro vyšší strojnické školy*. Praha: SPN, 1954. 270 s.
- [7] KALČÍK, Jozef a Karel SÝKORA. *Technická termomechanika*. Praha: Academia, 1973. S. 40-57
- [8] BORCHET, Rudolf a Werner JUBITZ. *Technika infračerveného záření*. Praha: státní nakladatelství technické literatury, 1958. 194 s. ISBN 301-05-36.
- [9] LÍBAL, Jan. *Využití termovizní kamery pro měření teploty elektrických strojů: diplomová práce*. Brno, 2009. Vysoké učení technické v Brně, fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. 56 s. Vedoucí práce Hana Kuchyňková.
- [10] DRASTICH, A. *Netelevizní zobrazovací systémy*. Brno: VUT v Brně, FEI, ÚBMI, 2001. ISBN: 80-214-1974- 1.
- [11] FIB-VŠB-TU Ostrava. *Elektromagnetické záření*. [online]. [cit. 2012-08-26]. Dostupné z [www: if.vsb.cz/Kontakt/Hlavacova/elmg_zareni.doc](http://www.if.vsb.cz/Kontakt/Hlavacova/elmg_zareni.doc)
- [12] ŠVÁBENÍK, Petr a Lucie DORDOVÁ. *Použití termokamery v technické praxi*. [online]. 2011. [cit. 2012-08-26]. Dostupné z [www: http://www.elektrorevue.cz/cz/clanky/kybernetika--automatizace--merici-technika/0/pouziti-termokamery-v-technicke-praxi/](http://www.elektrorevue.cz/cz/clanky/kybernetika--automatizace--merici-technika/0/pouziti-termokamery-v-technicke-praxi/)
- [13] KUSALA, Jaroslav. *Radarová 111tavebnictví: Elektromagnetické spektrum*. [online]. 2008 [cit. 2012-08-26]. Dostupné z [www: http://www.army.cz/images/id_8001_9000/8753/radar/k21.htm](http://www.army.cz/images/id_8001_9000/8753/radar/k21.htm)
- [14] VAŠKO, Antonín. *Infračervené záření a jeho užití*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1963. 294 s. ISBN 04-521-63.
- [15] CREATIVE COMMONS. cs wikipedia org: Světelný zdroj. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 8.7.2012 [cit. 2012-08-26]. Dostupné z [www: http://cs.wikipedia.org/wiki/Sv%C4%9Bteln%C3%BD_zdroj](http://cs.wikipedia.org/wiki/Sv%C4%9Bteln%C3%BD_zdroj)
- [16] FLIR SYSTEMS. *ThermaCAMTM S60 – User's manual*. FLIR Systems AB. Sweden: Publ. No. 1557538, 2004
- [17] VONDRÁČEK, Vlastimil, Ivo STŘEDA, Vladimír MAMULA a Miloš HLINKA. *Mechanika IV: Mechanika tekutin a termomechanika pro střední průmyslové školy strojnické*. Praha: SNTL, 1985. 252 s. ISBN 04-204-85.
- [18] W3M S.R.O. Gymnázium Ladislava Jaroše, Holešov: *Záření absolutně černého*

- tělesa. [online]. 2010 [cit. 2012-08-26]. Dostupné z [www:](http://www.gymhol.cz/projekt/fyzika/13_act/13_act.htm)
http://www.gymhol.cz/projekt/fyzika/13_act/13_act.htm
- [19] JENČÍK, Jozef a Jaromír VOLF. *Technická měření*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2003. Dostupné z [www:](http://www.strojar.com/upload/skripta/notime/Technicka_mereni_(OCR).pdf)
[http://www.strojar.com/upload/skripta/notime/Technicka_mereni_\(OCR\).pdf](http://www.strojar.com/upload/skripta/notime/Technicka_mereni_(OCR).pdf)
- [20] BRYNDA, Petr. *Úvod do teorie termovizního měření* [online]. c2008 [cit. 2012-08-26]. České vysoké učení technické – fakulta dopravní. Dostupné z [www:](http://www.fd.cvut.cz/projects/k611x1s/z_11_teorie_brynda.html)
http://www.fd.cvut.cz/projects/k611x1s/z_11_teorie_brynda.html
- [21] SAZIMA, Miroslav a kol. *Sdílení tepla*. Praha: SNTL, 1993, s. 275-285. ISBN 04-203-92.
- [22] SOŠKA, František. *Fyzika pro posluchače strojní fakulty. 3. Díl*. Liberec: VŠST, 1974. 314 s. ISBN 55-803-74.
- [23] Zpravodaj pro měření a regulaci: bezdotykové měření teploty. [online]. 2001 [cit. 2012-10-24]. Dostupné z [www:](http://www.kod.tul.cz/predmety/STE/ste.html)
<http://www.kod.tul.cz/predmety/STE/ste.html>
- [24] ČSN ISO 18434-1. *Monitorování stavu a diagnostika strojů – Termografie: Část první: všeobecné postupy*. Praha: UNMZ – úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
- [25] Onlio a.s. TMVSS. *Aplikace a produkty – termovize* [online]. [cit. 2012-10-24]. Dostupné z [www:](http://www.tmvss.cz/Aplikace/termovize.html)
<http://www.tmvss.cz/Aplikace/termovize.html>
- [26] ANGELIS, Jan, Ondřej SUCHÝ a Otto DVOŘÁK. *Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, záchranný hasičský sbor 112tavebnictví112kého kraje: Požární ochrana 2008. Využití termovizní kamery pro modelové fyzikální zkoušky požárně technických expertíz* Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2008. Dostupné z [www:](http://www.spbi.cz/index.php?id_document=8457)
http://www.spbi.cz/index.php?id_document=8457
- [27] MARYŠKOVÁ, Helena. *Termografie ve sportovní medicíně*. Brno, 2007. Bakalářská práce. MASARYKOVA UNIVERZITA, fakulta sportovních studií. Dostupné z [www:](http://is.muni.cz/th/142850/fsps_b/Termografie_ve_sportovni_medicine.txt)
http://is.muni.cz/th/142850/fsps_b/Termografie_ve_sportovni_medicine.txt
- [28] ENERGY CONSULTING SERVIS S.R.O. Využití infrakamery a bezdotykových teploměrů ve 112tavebnictví – chyby a omyly. [online]. 2009 [cit. 2012-08-26]. Dostupné z [www:](http://www.e-c.cz/download1.php?id=138)
www.e-c.cz/download1.php?id=138
- [29] HRDLIČKOVÁ, Z. *Alternativní metoda hodnocení komfortu oděvních výrobků pomocí termovizní kamery*. Liberec, 2011. 85 s. Diplomová práce na Fakultě textilní Technické univerzity v Liberci na katedře oděvnictví.
- [30] Přerovské sportovní centrum: *Sport4you*. [online]. 2010 [cit. 2012-11-02]. Dostupné z [www:](http://www.i-sport4you.cz/index.php?page=tf_slimbox)
http://www.i-sport4you.cz/index.php?page=tf_slimbox
- [31] FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ, ZČU v Plzni. *Teplotní pole* [online]. [cit. 2012-11-07]. Dostupné z [www:](http://web.fel.zcu.cz/kte/predmety/jine/EDS/COUP4.pdf)
<http://web.fel.zcu.cz/kte/predmety/jine/EDS/COUP4.pdf>
- [32] JITEX-COMFORT.CZ. *Kvena 830 THS* [online]. [cit. 2012-11-07]. Dostupné z [www:](http://www.jitex-comfort.cz)

<http://jitex-comfort.cz/textil>

[33] HABEL, Jiří. *Základy světelné techniky: Světlo, časopis pro světelnou techniku a osvětlování* [online]. Praha: Elektrotechnická fakulta ČVUT, 2008 [cit. 2012-11-12].

Dostupné z www:

http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=37589

[34] CREATIVE COMMONS. *Bavlna*. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2012 [cit. 2012-11-12]. Dostupné z www:

<http://cs.wikipedia.org/wiki/Bavlna>

[35] FUNKČNÍ-PRADLO.EU. *Polyester: Termoprádlo a funkční prádlo* [online]. 2012 [cit. 2012-11-12]. Dostupné z www:

<http://www.funkcni-pradlo.eu/funkcni-pradlo-a-jeho-vrstvy/1-vrstva>

[36] CREATIVE COMMONS. *Lycra*. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2012 [cit. 2012-11-12]. Dostupné z www:

<http://cs.wikipedia.org/wiki/Lycra>

[37] JITEX-COMFORT.CZ. *Materiály* [online]. [cit. 2012-11-07]. Dostupné z www:

<http://jitex-comfort.cz/textil>

[38] PEKARSKÁ, Veronika. *Multimediální učebnice konvenčních zobrazovacích systému - IR* [online]. ČVUT - fakulta biomedicínského inženýrství. [cit. 2012-11-15].

Dostupné z www:

webzam.fbmi.cvut.cz/hozman/AKK/ZSL_IR.ppt

[39] HORNÍČEK, Petr. *Odvod vlhkosti a tepla u lidské pokožky: Odvod vlhkosti a tepla z povrchu lidského těla* [online]. [cit. 2012-11-15]. Dostupné z www:

<http://www.kod.tul.cz/predmety/STE/ste.html>

[40] RUDA, Aleš. *Vylučovací soustava: Anatomie a fyziologie člověka* [online]. [cit. 2012-11-15]. Dostupné z www:

<http://www.gjs.cz/vedy-o-zemi/Ruda/07-vylucovaci-soustava-kuze-termoregulace.pdf>

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 a, rozložení spektrální hustoty zářivého toku; b, světelný tok [2]	22
Obr. 2 Elektromagnetická vlna šířící se v kladném směru osy Z. Vektor E kmitá v rovině X0Z, vektor H kmitá v rovině Y0Z. [14]	27
Obr. 3 Elektromagnetické spektrum [13]	30
Obr. 4 Spektrální barvy viditelného světla [13].....	30
Obr. 5 Infračervené spektrum slunce [14]	34
Obr. 6 Spojité spektrum ideálního spojitého zářiče [15]	39
Obr. 7 Čárové spektrum výbojky[15]	39
Obr. 8 Absolutně černé těleso [18]	41

Obr. 9 Intenzita spektrálního vyzařování černého tělesa při různých teplotách znázorněné na základě Planckova zákona. 1: Spektrální hustota intenzity vyzařování [$\text{W}/\text{cm}^2 \cdot 10^3 \mu\text{m}$]; 2: vlnová délka [μm] [16].....	42
Obr. 10 Vyzařovací křivky černého tělesa (čárkovaná čára je grafickým znázorněním Wienova zákona posuvu). [2]	43
Obr. 11 Charakteristické vyzařování při různých emisivitách [9].....	47
Obr. 12 Snímek s termovizní kamery, rozložení teploty na měřeném povrchu	52
Obr. 13 Schematický náčrt termografické měřicí situace, kde 1 je okolí, 2 je objekt, 3 atmosféra a 4 je kamera [20].....	54
Obr. 14 Snímek s termokamery, provozuschopnost fotovoltaických panelů [25].....	61
Obr. 15 Snímek z termokamery, zkouška s vánočními svíčky [26]	63
Obr. 16 Snímek z termokamery, modelová zkouška ze svařování elektrickým obloukem [26].....	63
Obr. 17 Snímek z termokamery, detekce úniku plynu [25].....	63
Obr. 18 Snímek z termokamery, využití v medicíně [25]	63
Obr. 19 Klimatizační komora	67
Obr. 20 Termovizní kamera Therma Cam S60.....	67
Obr. 21 Polystyren1 velikosti 160 x 160 x 50 mm	69
Obr. 22 Polystyrenové víčko velikosti 135 x 135 mm	69
Obr. 23 Polystyren2 velikosti 240 x 230 x 490 mm	69
Obr. 24 Uložení vzorků do polystyrénu1	69
Obr. 25 Umístění polystyrenu2 pod kameru.....	70
Obr. 26 Snímek z termokamery	71
Obr. 27 Uložení vzorku s thermaSpotem do polystyrenu1	73
Obr. 28 Snímek z thermaSpotem z termovizní kamery	75
Obr. 29 Snímek z termokamery pro M1 a T1	80
Obr. 30 Snímek z termokamery pro M2 a T1	80
Obr. 31 Závislost emisivity na teplotě pro všechny materiály	93
Obr. 32 Závislost emisivity na relativní vlhkosti pro všechny materiály	97
Obr. 33 Snímek vytvořený termovizní kamerou zepředu.....	101
Obr. 34 Snímek vytvořený termovizní kamerou z levé strany	101
Obr. 35 Snímek vytvořený termovizní kamerou zezadu	101

Obr. 36 Snímek vytvořený termovizní kamerou z pravé strany	101
Obr. 37 Proband nasnímaný termovizní kamerou	102
Obr. 38 Proband nasnímaný digitálním fotoaparátem	102
Obr. 39 Tzv. mapy vytvořené v oblasti předního dílu, loktů a zápěstí	104
Obr. 40 Tzv. mapy vytvořené v oblasti levého podpaží	106
Obr. 41 Tzv. mapy vytvořené v oblasti zadního dílu.....	107
Obr. 42 Tzv. mapy vytvořené v oblasti pravého podpaží	107

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Elektromagnetické záření a jeho vlnové délky	30
Tab. 2 Vlnové délky maxim záření vydávaných tělesy různé teploty [14]	33
Tab. 3 Seznam materiálů	66
Tab. 4 Proměnná teplota	76
Tab. 5 Proměnná relativní vlhkost.....	76
Tab. 6 Emisivita jednotlivých materiálů pro různé teploty	93
Tab. 7 Emisivita jednotlivých materiálů pro různou relativní vlhkost	96
Tab. 8 Doporučená tabulka emisivit	100
Tab. 9 Přehled průměrných teplot v oblasti pravého lokte a zápěstí	105
Tab. 10 Přehled průměrných teplot v oblasti levého lokte a zápěstí	105
Tab. 11 Přehled průměrných teplot na předním díle	105
Tab. 12 Přehled průměrných teplot v oblasti levého podpaží.....	106
Tab. 13 Přehled průměrných teplot v oblasti zadního dílu	107
Tab. 14 Přehled průměrných teplot v oblasti pravého podpaží	108

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1 Závislost emisivity na teplotě pro M1	81
Graf 2 Závislost emisivity na teplotě pro M2	81
Graf 3 Závislost emisivity na relativní vlhkosti pro M1	82
Graf 4 Závislost emisivity na relativní vlhkosti pro M2.....	83
Graf 5 Závislost emisivity na teplotě pro M3	84
Graf 6 Závislost emisivity na teplotě pro M4	84

Graf 7 Závislost emisivity na relativní vlhkosti pro M3	85
Graf 8 Závislost emisivity na relativní vlhkosti pro M4	86
Graf 9 Závislost emisivity na teplotě pro M5	87
Graf 10 Závislost emisivity na teplotě pro M6	87
Graf 11 Závislost emisivity na relativní vlhkosti pro M5	88
Graf 12 Závislost emisivity na relativní vlhkosti pro M6	89
Graf 13 Závislost emisivity na teplotě pro M7	90
Graf 14 Závislost emisivity na relativní vlhkosti pro M7	91
Graf 15 Závislost emisivity na teplotě pro M8	92
Graf 16 Závislost emisivity na relativní vlhkosti pro M8	92
Graf 17 Emisivita jednotlivých materiálů při různé teplotě	94
Graf 18 Emisivita jednotlivých materiálů při různé relativní vlhkosti	98

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA Č. 1 PŘEHLED VELIČIN A JEDNOTEK Z OBLASTI ZÁŘENÍ	117
PŘÍLOHA Č. 2 PŘEHLED POUŽITÝCH TEXTILNÍCH MATERIÁLŮ	119
PŘÍLOHA Č. 3 THERMASPOT	124
PŘÍLOHA Č. 4 PŘEHLED EMISIVITY PRO TEXTILNÍ MATERIÁLY	126
PŘÍLOHA Č. 5 SNÍMKY Z TERMOVIZNÍ KAMERY	131
PŘÍLOHA Č. 6 ROZDĚLENÍ TEPLoměRŮ	134
PŘÍLOHA Č. 7 ZÁKLADNÍ TERMÍNY A DEFINICE Z OBLASTI TERMOVIZE	137
PŘÍLOHA Č. 8 ZÁVISLOST TEPLoty NA ČASE	140
PŘÍLOHA Č. 9 TEPOVÁ FREKVENCE	149
PŘÍLOHA Č. 10 HODNOCENÍ TEPLotNÍCH POLÍ TERMOPRÁDLA S POUŽITÍM TERMOVIZNÍ KAMERY	152
PŘÍLOHA Č. 11 ZMĚNA POVRCHOVÉ TEPLoty KŮŽE ČLOVĚKA	171

PŘÍLOHA Č. 1 PŘEHLED VELIČIN A JEDNOTEK Z OBLASTI ZÁŘENÍ




Veličina (jednotka)	značka	Definice	Poznámka
Zářivý tok Φ_e (W)		Energie přenesená zářením za jednotku času $\Phi_e = \frac{dW}{dt} = \frac{dQ}{dt}$ (W; J, s)	Φ_e je výkon přenášený zářením
Bodový zdroj		Zdroj, jehož největší rozměr a_z je praktický zanedbatelný ve srovnání se vzdáleností l zdroje od kontrolního bodu	Obvykle stačí, platí-li $l \geq 10 a_z$ nebo alespoň $l \geq 5 a_z$
Prostorový úhel Ω (sr)		Velikost plochy vyřáté obecnou kuželovou plochou na povrchu jednotkové koule ($r = 1$ m), jejíž střed, vrchol prostorového úhlu, je totožný s vrcholem uvažované kuželové plochy	Prostorový úhel $d\Omega$, pod nímž je ze vzdálenosti l vidět ploška dA , jejíž normála svírá s osou $d\Omega$ úhel β , je roven $d\Omega = \frac{dA \cos \beta}{l^2}$ (sr; $m^2, -, m$)
Zářivost		Prostorová hustota zářivého toku dopadlého na plochu dA $E_e = \frac{d\Phi_e}{dA}, \quad (W/m^2; W, m^2)$	Při nerovnoměrném prostorovém rozložení zářivého toku platí $I_e = d\Phi_e / d\Omega$ ($\frac{W}{m^2}; \frac{W}{sr}, m$)
Zář (svazku sbíhavých paprsků) L_e ($W * m^{-2} * sr^{-1}$)		$L_e = \frac{dE_{eN}}{d\Omega}$	Paprsky se sbíhají v mezích prostorového úhlu $d\Omega$ do jeho

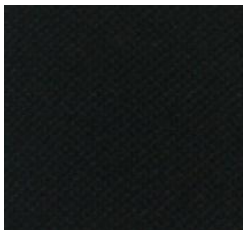

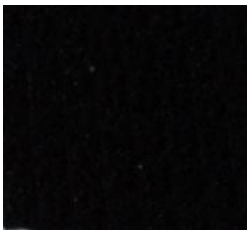

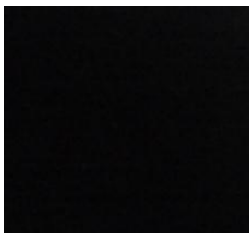
	$(W * m^{-2} * sr^{-1}, W * m^{-2}, sr)$	vrcholu; dE_{eN} jenormálová ozáření plošky umístěné do vrcholu $d\Omega$ kolmo k jeho ose
Zář (svazku rozbíhavých paprsků) $L_e (W * m^{-2} * sr^{-1})$	$L_{e\gamma} = \frac{dI_{e\gamma}}{dA \cos \gamma}$ $(W * m^{-2} * sr^{-1}, W * sr^{-1}, m^{-2}, -)$	$L_{e\gamma} (I_{e\gamma})$ je zář (zářivost) plošky dA ve směru pod úhlem γ od normály k plošce dA
Vyzařování, intenzita vyzařování $M_e (/m^2)$	Plošná hustota zářivé energie (či množství záření) Q_e $H_e = \frac{dQ_e}{dA}$ $J * m^{-2}; J, m^2$	Protože $\frac{dH_e}{dt} = E_e$, platí $H_e = \int_0^t E_e dt$ $(J * m^{-2} W * m^{-2}, s)$

Tab. 1 Přehled veličin a jednotek z oblasti záření

[33]

PŘÍLOHA Č. 2 PŘEHLED POUŽITÝCH TEXTILNÍCH MATERIÁLŮ

Označení	M1	M2	M3
Výrobce	Jitex Comfort s.r.o.	Jitex Comfort s.r.o.	Jitex Comfort s.r.o.
Název materiálu	Není uvedeno	Není uvedeno	
Složení	Bavlna/polypropylen	Bavlna/polypropylen	Funkční polyester
Barva	Červená	Modrá	Žlutá
Plošná hmotnost [g/m ²]	200	200	185
Popis	Plyšová konstrukce úpletu	Plyšová konstrukce úpletu	Úplet – kombinace profilovaných dutých vláken
Vzorek			
Označení	M4	M5	M6
Výrobce	Jitex Comfort s.r.o.	Jitex Comfort s.r.o.	Jitex Comfort s.r.o.
Název materiálu			
Složení	Funkční polyester	100% polypropylen	100% polypropylen
Barva	Tmavě zelená	Bílá	Černá
Plošná hmotnost [g/m ²]	185	160	160
Popis	Úplet – kombinace dutých profilovaných vláken	Úplet – kombinace dutého a profilovaného	úplet

		polypropylénu	
Vzorek			
Označení	M7	M8	
Výrobce	Sintex, a.s.	Sintex, a.s	
Název materiálu	JC 184	JW 302	
Složení	95% bambus, 5% lycra	100% vlna merino	
Barva	Červená barva s potiskem	Černá barva	
Plošná hmotnost	230	150	
Popis	úplet	úplet	
Vzorek			

Tab. 2 Přehled použitých textilních materiálů

Testované termoprádlo

Výrobce	Jitex Comfort
Název materiálu	Kvena 830 THS
Složení	45 % merino vlna, 53 % modal, 2 % polyamid
Barva	černá
Plošná hmotnost	235 g/m ²
<p>Popis: Vlněné dámské tričko s dlouhými rukávy klasického střihu. Kulatý výstřih a rukávy zpracovány do lemů. Zeštíhlený tvar díky bočnímu členění vsadkami. Ploché švy v barvě úpletu, ve stejné barvě sladěná výšivka. Hladký úplet skládající se ze dvou propojených vrstev - na lícni straně merino vlna s vynikajícími užitnými vlastnostmi, o nichž se můžete dočíst v sekci Materiály, úplety, stranu k tělu tvoří modalová příze způsobující příjemný hebký omak. Vrstvy propojující polyamidové vlákno zajišťuje pružnost a tvarovou stabilitu materiálu.</p>	



Obr. 1 Termoprádlo KVENA 830 THS

Tab. 3 Technické parametry testovaného termoprádla – Kvena 830 THS [32]

Použité materiály

Merino vlna (vl)

Spodní prádlo vyráběné z jemné merino vlny poskytuje uživateli **pohodlí a vysoký komfort při nošení**. Merino vlna kvalitně izoluje a **pomáhá udržovat stálou tělesnou teplotu** za jakýchkoliv podmínek. Trvá déle, než pocítíte chlad nebo horko ve srovnání s jinými materiály. V zimě hřeje a chrání před prochladnutím, v horkém letním počasí dokáže ochladit a ochránit organismus před přehřátím. Na slunci navíc poskytuje vysokou **ochranu proti UV záření**. Vlna **hřeje, i když je vlhká**. Dokáže pojmout vlhkost rovnající se až třetině své váhy, aniž by na dotyk působila mokrá. Merino vlna má přirozenou schopnost vydržet dlouhou dobu **bez zápachu**. Ten způsobují bakterie, které se množí v klasickém spodním prádle ze syntetiky nebo bavlny. Díky jedinečnému složení vlněného vlákna není vlna vhodná pro život bakterií a virů, omezuje jejich rozklad a množení a tak oblečení nezapáchá ani při dlouhodobém nošení. Vlněný

výrobek stačí pouze "přes noc" vyvětrat nebo lehce vymáchat ve vodě a lze jej nosit dále bez vyprání. Proto jsou vlněné výrobky tak oblíbené zejména pro několikadenní a týdenní **outdoorové aktivity a cestování**. Pro letní období jsou vhodné výrobky s nižší gramáží, 185 g/m². Lehké úplety lze efektivně využít i jako první vrstvu v kombinaci s druhou vrstvou s vyšší gramáží při chladnějších večerech nebo v zimě. Vlas merino vlny má tloušťku 15 až 25 mikrometrů. Firma Jitex Comfort zpracovává příze z vláken do průměru 18,5 mikrometrů v úpravě Superwash.

100 % polypropylen

Termoprádlo a ostatní funkční výrobky z polypropylenového vlákna jsou vyvinuté pro optimální odvod vlhkosti od těla. Slouží k udržení pokožky nositele v suchu a ke stabilizaci tělesné teploty. Polypropylen, díky své nulové nasákavosti, transportuje pot dále od pokožky a to buď do prostoru, nebo do další oděvní vrstvy. Díky funkčnímu prádlu už nikdy neprochladnete! Výrobky jsou vhodné jak do extrémních podmínek při práci, či sportovních aktivitách, tak i k běžnému pobytu v přírodě a ke každodennímu nošení. Chemické vlákno ze syntetických polymerů. Nejlehčí vlákno, lehčí než voda. Vlákno s nejnižší navlhavostí.

Bavlna

Přírodní celulózové vlákno. Vhodná jak na klasické prádlo, tak na vrchní ošacení. Přírodní celulózové vlákno. Staletími prověřená klasika, vhodná jak na klasické prádlo, tak na vrchní ošacení. Vlákno má dobrou pevnost v tahu a v oděru, za mokra se asi o 20 % zvyšuje. Výrobky mají příjemný omak, mohou sát značné množství vlhkosti, například potu. Nevýhodou vlákna je, že výrobky z bavlny se snadno mačkají, žmolkuje a jen omezeně chrání proti chladu.

Funkční polyester

Polyester je rychle schnoucí, pružný a odolný materiál, vhodný pro všechny druhy letních a halových sportů. Oblečení není vhodné do mrazivých nebo chladných podmínek. Má poměrně nízkou nasákavost (přibližně 2%), nesráží se, horší tepelnou vodivost, dá se těžko zmačkat, je vysoce savý. Je výborným materiálem pro první funkční vrstvu.

Bambus

Bambus je přírodní materiál, používaný k výrobě funkčního oblečení. Má vysokou absorpční vlastnost, odvod potu, je antibakteriální, má dobrou mechanickou odolnost. Na dotyk působí jemným a chladivým dojmem, má dobrou prodyšnost, dobré termoizolační vlastnosti. Používá se v oblasti sportu a outdooru, v oblasti volného času a cestování.

Lycra

Lycra je obchodní název pro elastan. Vláknem obsahuje více než 85 % polyuretanu, roztažnost vláken dosahuje až osminásobek délky, má schopnost vrátit se do původního tvaru, pevnost v oděru je velmi nízká. Vyrábí se jako multifilament (jednotlivá elementární vlákna jsou slepena dohromady). Nejčastěji se kombinuje s jinými vlákny. Zlepšují se užité vlastnosti materiálu.

Polyamid

Polyamid je oblíbený materiál pro výrobu funkčního oblečení pro svou pevnost (jedna z nejvyšších), vysokou únosnost, vysokou odolností vůči odření a trhání, vlákno je pružné, nemačká se. Je jednoduché na údržbu. Polyamid je vhodný na oblečení pro běh, dámské a pánské spodní prádlo a plavky.

Modal

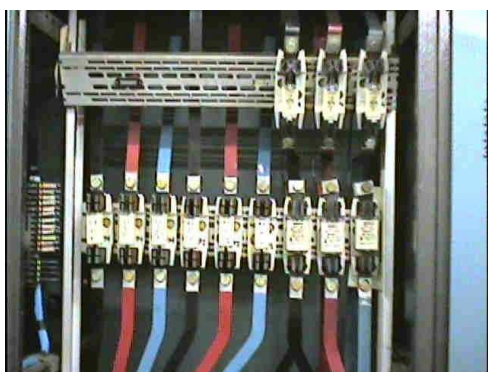
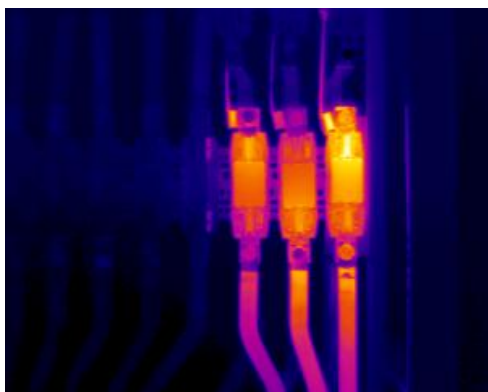
Modal patří do skupiny chemických vláken z přírodní celulózy. Vláknem je příjemné na omak, úplety jsou měkké, pružné, zářivě barevné, s hedvábným leskem.

[32, 34, 35, 36, 37]

PŘÍLOHA Č. 3 THERMASPOT

ThermaSpot

Speciální samolepící štítek pro úpravu povrchu před bezkontaktním měřením teploty



Obr. 2 Snímek pořízen termovizní kamerou a digitálním fotoaparátem [25]

- Černý, nebo bílý samolepící štítek
- vysoká emisivita $E = 0,96$
- vysoká přilnavost na různé materiály
- snadná aplikace na měřený objekt
- snadné odstranění z měřeného objektu
- dva rozměry: 70 ks $\varnothing 2,5$ cm

50 ks $\varnothing 3,5$ cm

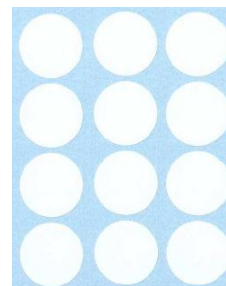
- možnost výroby jiných rozměrů

Speciální samolepící štítek *ThermaSpot* je určen pro úpravu povrchu měřeného objektu před bezkontaktním měřením teploty termovizní kamerou nebo bezkontaktním teploměrem. Díky jednoduché a rychlé aplikaci lze snadno provádět tato měření na objektech s neznámou nebo nízkou emisivitou (vysokou odrazivostí – zejména kovové části). Je vhodný zejména pro vytváření měřicích bodů na povrchu jak při

jednorázovém, tak i opakovaném měření teplot, kde je třeba eliminovat vliv nízké emisivity měřeného objektu.

Použití:

- ✓ na objekty s neznámou nebo nízkou emisivitou – vysokou odrazivostí
- ✓ kde je důležité určit přesně teplotu
- ✓ pro úpravu povrchu před bezkontaktním měřením teploty
- ✓ pro vytvoření referenčních měřících bodů pro jednorázová i opakovaná měření



Výhody:

Obr. 3 Samolepící štítek ThermoSpot [25]

- ✓ stála a zaručená měřící místa
- ✓ eliminace chyb při měření
- ✓ usnadnění termovizního měření na kovových objektech (elektrosoučásti, hliníkové a jiné kovové odlitky, stavební konstrukce atd).



Výhradní obchodní a servisní zastoupení firmy FLIR Systems

TMV SS spol. s r.o.
Studánková 395
149 00 Praha 4

Tel: +420-272 942 720, Fax: +420-272 942 722
E-mail: info@tmvss.cz
Internet: www.tmvss.cz

[25]

PŘÍLOHA Č. 4 PŘEHLED EMISIVITY PRO TEXTILNÍ MATERIÁLY

<i>Materiál M1</i>	<i>T1</i>	<i>T2</i>	<i>T3</i>	<i>Průměr</i>
první měření	0,83	0,81	0,78	
druhé měření	0,89	0,82	0,81	
třetí měření	0,79	0,86	0,83	
STŘEDNÍ HODNOTA	0,84	0,83	0,81	0,82
CHYBA STŘEDNÍ HODNOTY	0,029	0,015	0,015	0,02
MEDIAN	0,83	0,82	0,81	
SMĚRODATNÁ ODCHYLKA	0,050	0,026	0,025	
ROZPTYL VÝBĚRU	0,0025	0,0007	0,00063	
<i>Materiál M2</i>	<i>T1</i>	<i>T2</i>	<i>T3</i>	
první měření	0,85	0,82	0,81	
druhé měření	0,80	0,81	0,80	
třetí měření	0,84	0,85	0,83	
STŘEDNÍ HODNOTA	0,83	0,83	0,81	0,82
CHYBA STŘEDNÍ HODNOTY	0,015	0,012	0,0088	0,012
MEDIAN	0,84	0,82	0,81	
SMĚRODATNÁ ODCHYLKA	0,026	0,021	0,015	
ROZPTYL VÝBĚRU	0,0007	0,00043	0,00023	
<i>Materiál M3</i>	<i>T1</i>	<i>T2</i>	<i>T3</i>	
první měření	0,91	0,85	0,89	
druhé měření	0,83	0,89	0,90	
třetí měření	0,88	0,85	0,86	
STŘEDNÍ HODNOTA	0,87	0,86	0,88	0,87
CHYBA STŘEDNÍ HODNOTY	0,023	0,013	0,012	0,016
MEDIAN	0,88	0,85	0,89	
SMĚRODATNÁ ODCHYLKA	0,040	0,023	0,021	
ROZPTYL VÝBĚRU	0,0016	0,00053	0,00043	
<i>Materiál M4</i>	<i>T1</i>	<i>T2</i>	<i>T3</i>	
první měření	0,84	0,89	0,89	
druhé měření	0,86	0,84	0,84	
třetí měření	0,85	0,82	0,88	

STŘEDNÍ HODNOTA	0,85	0,85	0,87	0,86
CHYBA STŘEDNÍ HODNOTY	0,0058	0,021	0,015	0,014
MEDIAN	0,85	0,84	0,88	
SMĚRODATNÁ ODCHYLKA	0,01	0,036	0,026	
ROZPTYL VÝBĚRU	0,0001	0,0013	0,0007	
<i>Materiál M5</i>	<i>T1</i>	<i>T2</i>	<i>T3</i>	
první měření	0,89	0,86	0,93	
druhé měření	0,85	0,97	0,94	
třetí měření	0,95	0,91	0,95	
STŘEDNÍ HODNOTA	0,90	0,91	0,94	0,92
CHYBA STŘEDNÍ HODNOTY	0,029	0,032	0,0058	0,022
MEDIAN	0,89	0,91	0,94	
SMĚRODATNÁ ODCHYLKA	0,050	0,055	0,01	
ROZPTYL VÝBĚRU	0,0025	0,0030	0,0001	
<i>Materiál M6</i>	<i>T1</i>	<i>T2</i>	<i>T3</i>	
první měření	0,91	0,97	0,97	
druhé měření	0,94	0,93	0,99	
třetí měření	0,89	0,96	0,96	
STŘEDNÍ HODNOTA	0,91	0,95	0,97	0,95
CHYBA STŘEDNÍ HODNOTY	0,015	0,012	0,0088	0,012
MEDIAN	0,91	0,96	0,97	
SMĚRODATNÁ ODCHYLKA	0,025	0,021	0,015	
ROZPTYL VÝBĚRU	0,00063	0,00043	0,00023	
<i>Materiál M7</i>	<i>T1</i>	<i>T2</i>	<i>T3</i>	
první měření	0,91	0,9	0,94	
druhé měření	0,91	0,91	0,93	
třetí měření	0,93	0,94	0,91	
STŘEDNÍ HODNOTA	0,92	0,92	0,93	0,92
CHYBA STŘEDNÍ HODNOTY	0,0067	0,012	0,0088	0,0092
MEDIAN	0,91	0,91	0,93	
SMĚRODATNÁ ODCHYLKA	0,012	0,021	0,015	
ROZPTYL VÝBĚRU	0,00013	0,00043	0,00023	
<i>Materiál M8</i>	<i>T1</i>	<i>T2</i>	<i>T3</i>	

první měření	0,9	0,97	0,96	
druhé měření	0,88	0,9	0,93	
třetí měření	0,92	0,93	0,95	
STŘEDNÍ HODNOTA	0,9	0,93	0,95	0,93
CHYBA STŘEDNÍ HODNOTY	0,012	0,020	0,0088	0,014
MEDIAN	0,9	0,93	0,95	
SMĚRODATNÁ ODCHYLKA	0,02	0,035	0,015	
ROZPTYL VÝBĚRU	0,0004	0,0012	0,00023	

Tab. 4 Emisivita pro T1, T2 a T3

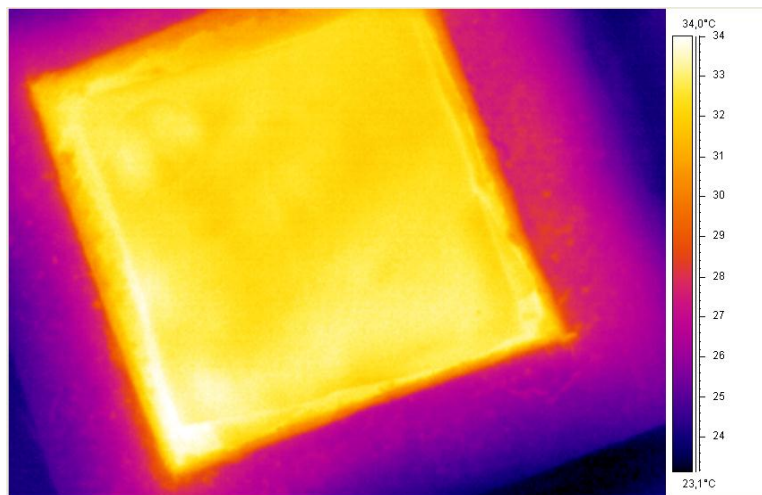
<i>Materiál M1</i>	<i>RH1</i>	<i>RH2</i>	<i>RH3</i>	<i>Průměr</i>
první měření	0,87	0,81	0,83	
druhé měření	0,83	0,82	0,86	
třetí měření	0,84	0,86	0,84	
STŘEDNÍ HODNOTA	0,85	0,83	0,84	0,84
CHYBA STŘEDNÍ HODNOTY	0,012	0,015	0,0088	0,012
MEDIAN	0,84	0,82	0,84	
SMĚRODATNÁ ODCHYLKA	0,021	0,026	0,015	
ROZPTYL VÝBĚRU	0,00043	0,0007	0,00023	
<i>Materiál M2</i>	<i>RH1</i>	<i>RH2</i>	<i>RH3</i>	
první měření	0,90	0,82	0,84	
druhé měření	0,82	0,81	0,83	
třetí měření	0,84	0,85	0,80	
STŘEDNÍ HODNOTA	0,85	0,83	0,82	0,83
CHYBA STŘEDNÍ HODNOTY	0,024	0,012	0,012	0,016
MEDIAN	0,84	0,82	0,83	
SMĚRODATNÁ ODCHYLKA	0,042	0,021	0,021	
ROZPTYL VÝBĚRU	0,0017	0,00043	0,00043	
<i>Materiál M3</i>	<i>RH1</i>	<i>RH2</i>	<i>RH3</i>	
první měření	0,94	0,85	0,87	
druhé měření	0,86	0,89	0,87	
třetí měření	0,88	0,85	0,83	
STŘEDNÍ HODNOTA	0,89	0,86	0,86	0,87
CHYBA STŘEDNÍ HODNOTY	0,024	0,013	0,013	0,017
MEDIAN	0,88	0,85	0,87	
SMĚRODATNÁ	0,042	0,023	0,023	

ODCHYLKA				
ROZPTYL VÝBĚRU	0,0017	0,00053	0,00053	
<i>Materiál M4</i>	<i>RH1</i>	<i>RH2</i>	<i>RH3</i>	
první měření	0,90	0,89	0,82	
druhé měření	0,88	0,84	0,88	
třetí měření	0,87	0,82	0,82	
STŘEDNÍ HODNOTA	0,88	0,85	0,84	0,86
CHYBA STŘEDNÍ HODNOTY	0,0088	0,021	0,02	0,017
MEDIAN	0,88	0,84	0,82	
SMĚRODATNÁ ODCHYLKA	0,015	0,036	0,035	
ROZPTYL VÝBĚRU	0,00023	0,0013	0,0012	
<i>Materiál M5</i>	<i>RH1</i>	<i>RH2</i>	<i>RH3</i>	
první měření	0,89	0,86	0,92	
druhé měření	0,94	0,97	0,90	
třetí měření	0,93	0,91	0,93	
STŘEDNÍ HODNOTA	0,92	0,91	0,92	0,92
CHYBA STŘEDNÍ HODNOTY	0,015	0,032	0,0088	0,019
MEDIAN	0,93	0,91	0,92	
SMĚRODATNÁ ODCHYLKA	0,026	0,055	0,015	
ROZPTYL VÝBĚRU	0,0007	0,0030	0,00023	
<i>Materiál M6</i>	<i>RH1</i>	<i>RH2</i>	<i>RH3</i>	
první měření	0,93	0,97	0,92	
druhé měření	0,96	0,93	0,97	
třetí měření	1,00	0,96	0,93	
STŘEDNÍ HODNOTA	0,96	0,95	0,94	0,95
CHYBA STŘEDNÍ HODNOTY	0,020	0,012	0,015	0,016
MEDIAN	0,96	0,96	0,93	
SMĚRODATNÁ ODCHYLKA	0,035	0,021	0,026	
ROZPTYL VÝBĚRU	0,0012	0,00043	0,0007	
<i>Materiál M7</i>	<i>RH1</i>	<i>RH2</i>	<i>RH3</i>	
první měření	0,94	0,9	0,88	
druhé měření	0,89	0,91	0,9	
třetí měření	0,93	0,94	0,92	
STŘEDNÍ HODNOTA	0,92	0,92	0,9	0,91
CHYBA STŘEDNÍ HODNOTY	0,015	0,012	0,012	0,013
MEDIAN	0,93	0,91	0,9	
SMĚRODATNÁ	0,026	0,021	0,002	

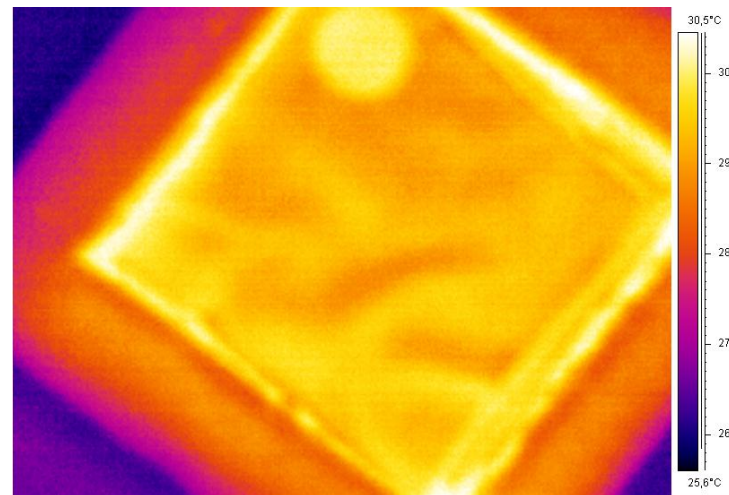
ODCHYLKA				
ROZPTYL VÝBĚRU	0,0007	0,00043	0,0004	
<i>Materiál M8</i>	<i>RH1</i>	<i>RH2</i>	<i>RH3</i>	
první měření	0,96	0,97	0,86	
druhé měření	0,98	0,9	0,88	
třetí měření	0,92	0,93	0,86	
STŘEDNÍ HODNOTA	0,95	0,93	0,87	0,92
CHYBA STŘEDNÍ HODNOTY	0,018	0,020	0,0067	0,015
MEDIAN	0,96	0,93	0,86	
SMĚRODATNÁ ODCHYLKA	0,031	0,035	0,012	
ROZPTYL VÝBĚRU	0,00093	0,0012	0,00013	

Tab. 5 Emisivita pro RH1, RH2 a RH3

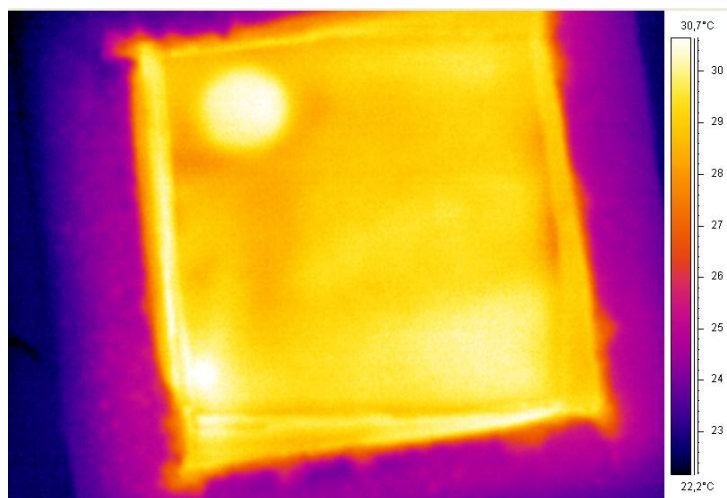
PŘÍLOHA Č. 5 SNÍMKY Z TERMOVIZNÍ KAMERY



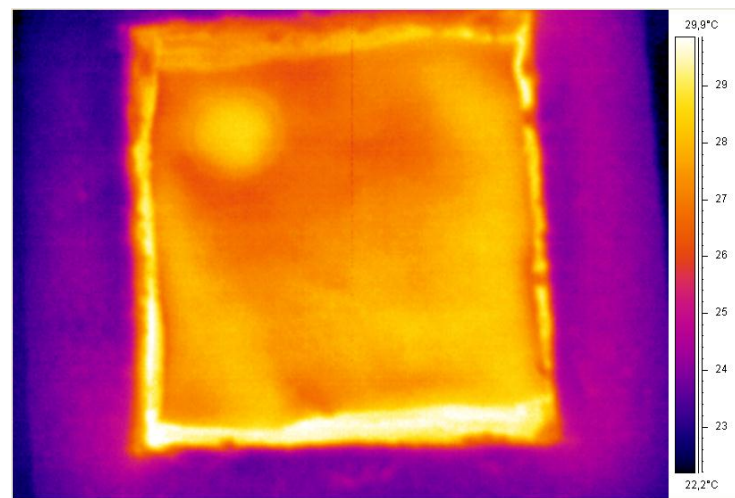
Obr. 4 Snímek s termovizní kamery pro M7 a RH1



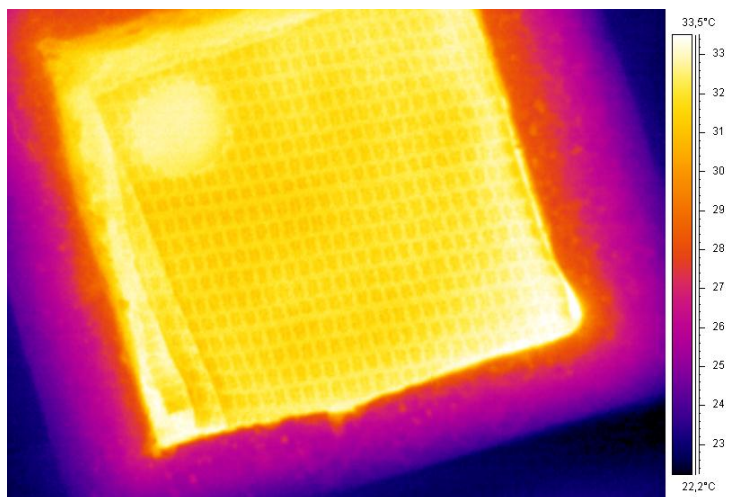
Obr. 5 Snímek s termovizní kamery pro M2 a T1



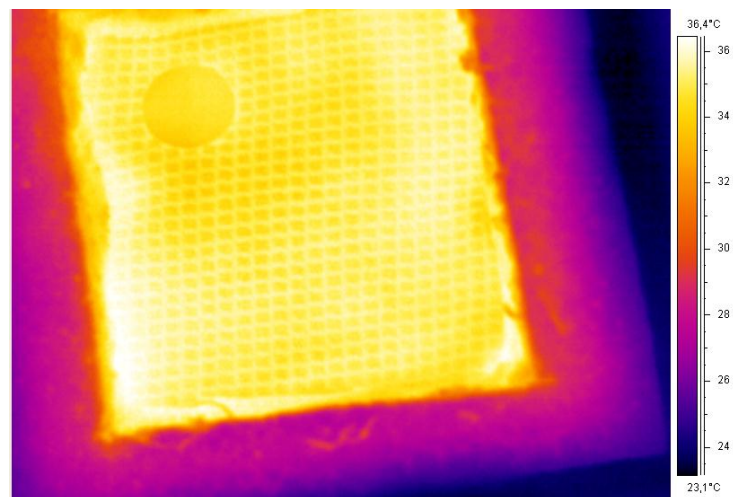
Obr. 6 Snímek z termovizní kamery pro M3 a RH3



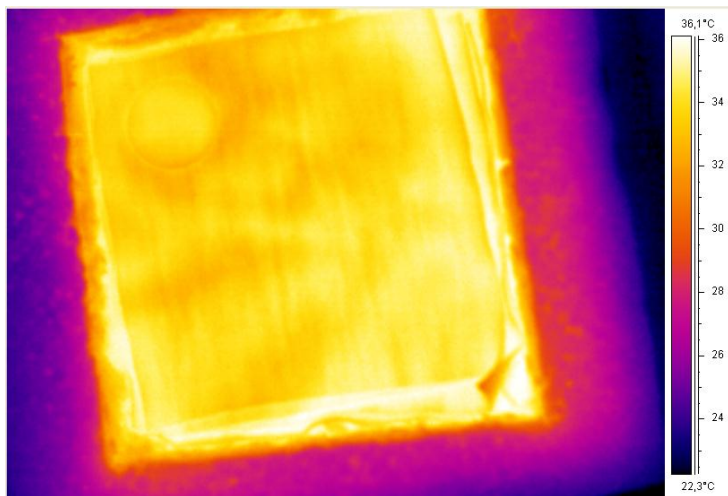
Obr. 7 Snímek s termovizní kamery pro M1 a RH3



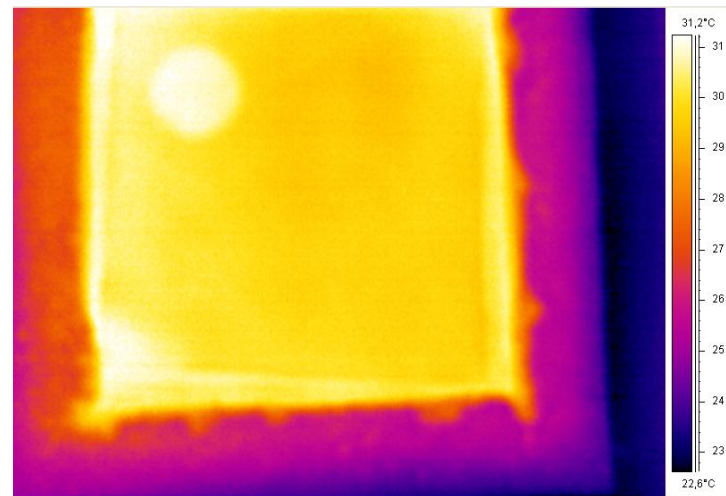
Obr. 8 Snímek s termovizní kamery pro M5 a RH1



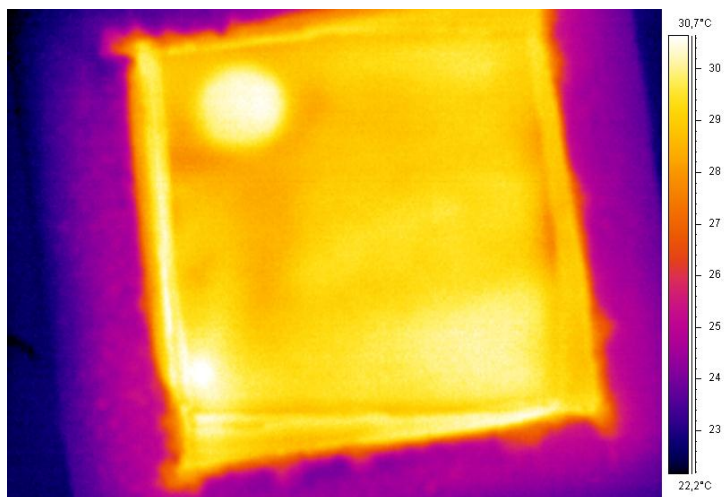
Obr. 9 Snímek s termovizní kamery pro M6 a T3



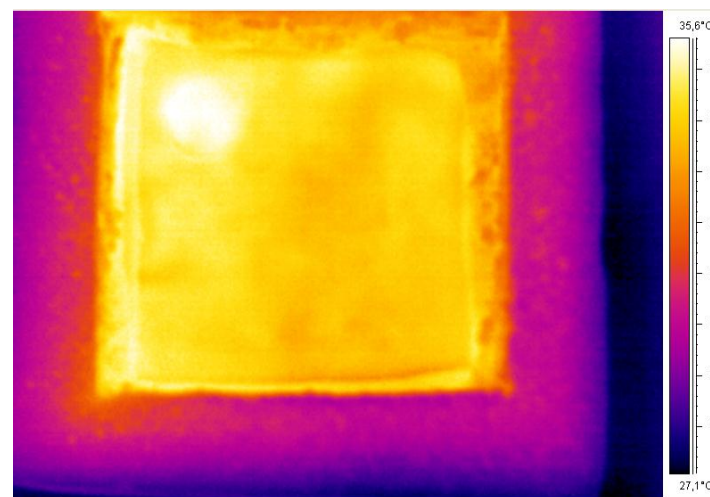
Obr. 10 Snímek s termovizní kamery pro M8 a T3



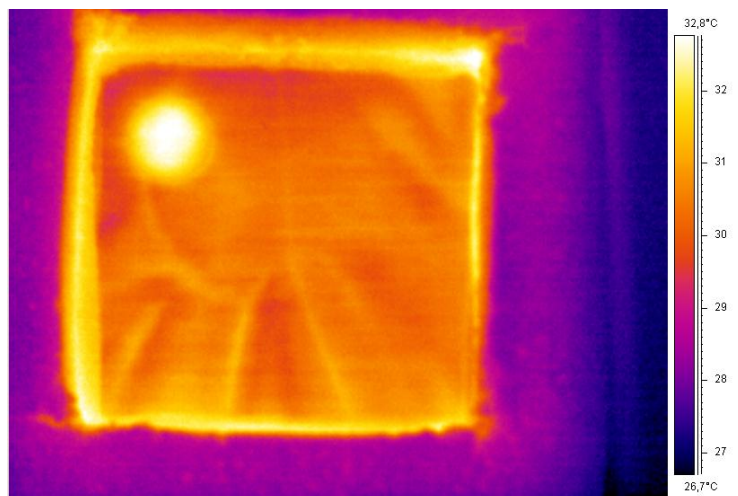
Obr. 11 Snímek s termovizní kamery pro M4 a T1



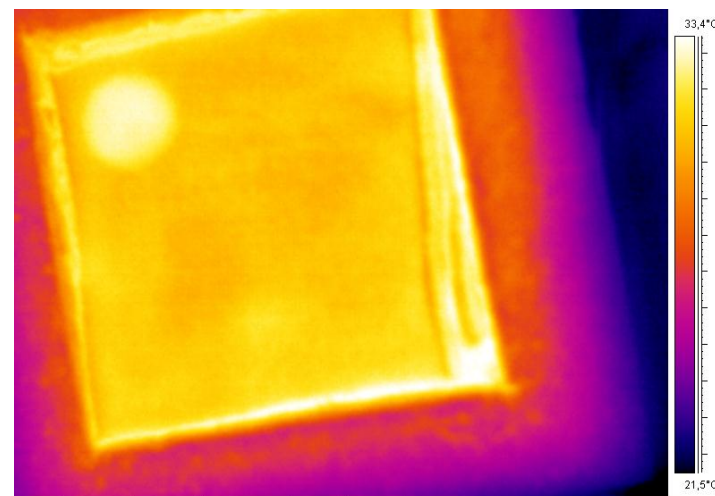
Obr. 12 Snímek s termovizní kamery pro M1 a T2



Obr. 13 Snímek s termovizní kamery pro M8 a T2

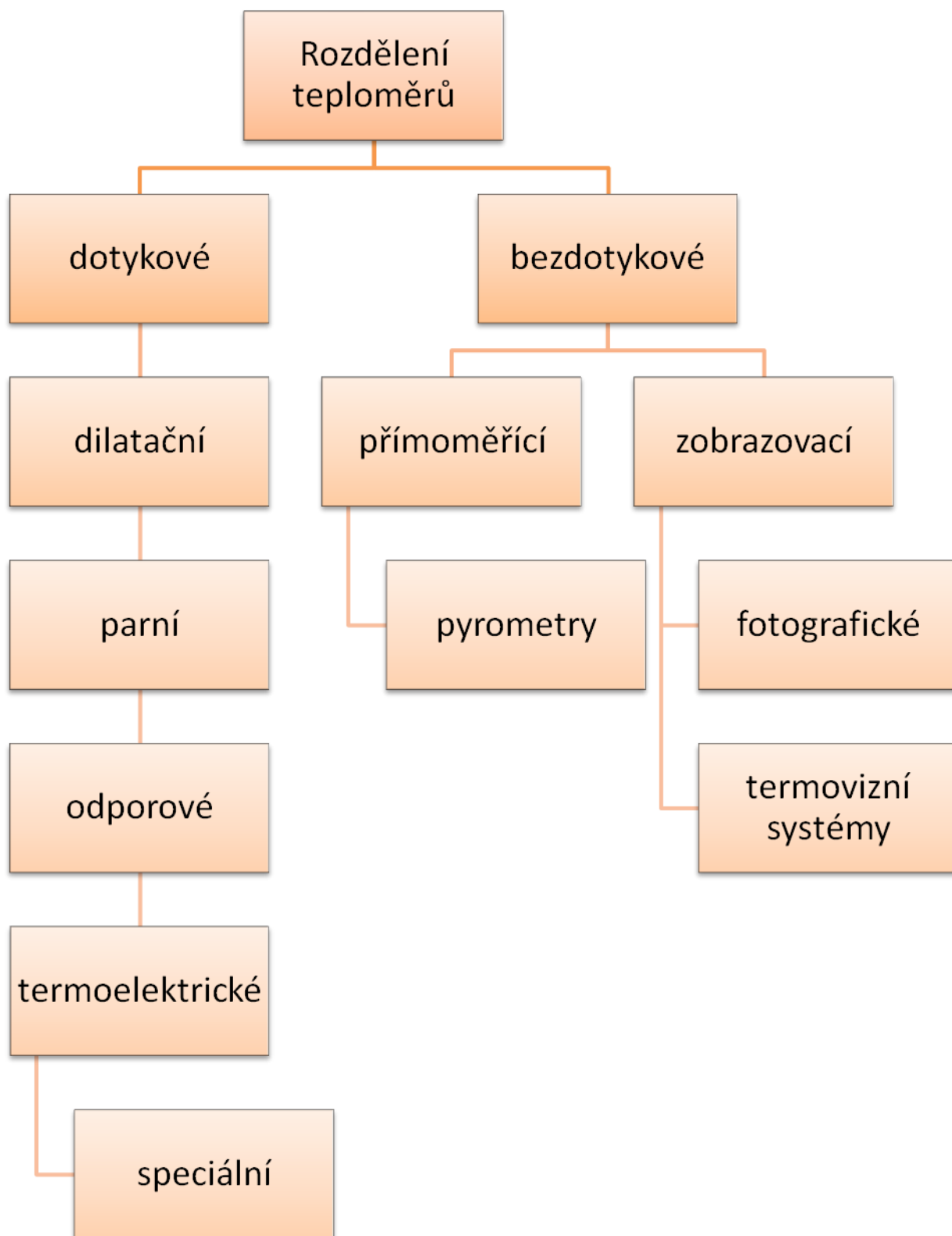


Obr. 14 Snímek s termovizní kamery pro M7 a RH2



Obr. 15 Snímek s termovizní kamery pro M1 a RH3

PŘÍLOHA Č. 6 ROZDĚLENÍ TEPLOMĚŘŮ



Dotykové teploměry

Při měření jsou v přímém dotyku s měřeným objektem.

Dilatační teploměry – využívají teplotní roztažnosti tuhých látek, kapalin a plynů.

Parní teploměry – využívají teplotní závislosti tlaku syté páry teploměrové kapaliny.

Odporové teploměry – využívají teplotní závislosti elektrického odporu vodičů a polovodičů.

Termoelektrické teploměry – využívají teplotní závislosti termoelektrického napětí termoelektrického článku.

Speciální teploměry – využívají změn vybraných fyzikálních vlastností tuhých látek a kapalin s teplotou (měknutí, tavení, ...).

Bezdotykové teploměry

Nedochází k přímému kontaktu s objektem, využívají tepelného záření vyšetřovaného objektu.

Přímoměřicí teploměry – pyrometry

Zobrazovací teploměry – fotometrie a termovize.

Pyrometry – jsou bezdotykové teploměry, které určují teplotu měřeného tělesa z teplotního záření. Podle spektrální oblasti využitého záření se pyrometry rozdělují na:

- spektrální – využívají tepelného záření při jedné vlnové délce, zpravidla $\lambda=0,65 \mu\text{m}$,
- pásmové – využívají tepelného záření v úzkém pásmu vlnových délek, který je dán absorpčními vlastnostmi použitého detektoru záření,
- barvové (na spektrální rozložení) – využívají tepelného záření při dvou vlnových délkách zpravidla $\lambda_1=0,55 \mu\text{m}$ a $\lambda_2=0,65 \mu\text{m}$ (zelená, červená),
- radiační (na celkové záření) – využívají tepelného záření ve velké oblasti vlnových délek, který je omezen absorpční schopností použitého detektoru a propustností optiky pyrometru.

Fotometrie – využívá klasického fotoaparátu s velkou světelností a fotomateriálem sensibilibovaným na infračervené záření.

Dotykové teploměry:	Měřicí rozsah (°C)
tyčové	-30 až 1000
bimetalické	-30 až 350
skleněné s organickou náplní	-200 až 100
skleněné s kovovou náplní	-30 až 630 (1000)
tlakové kapalinové	0 až 850
tlakové parní	-50 až 200
tlakové plynové	-260 až 800
odporové platinové	-270 až 850 (1000)
odporové niklové	0 až 180
termoelektrické T (Cu-CuNi)	-200 až 400
termoelektrické J (Fe-CuNi)	-200 až 760
termoelektrické E (NiCr-CuNi)	-100 až 700 (900)
termoelektrické K (NiCr-NiAl)	-200 až 1000 (1300)
termoelektrické S (PtRh10-Pt)	0 až 1300 (1600)
termoelektrické R (PtRh13-Pt)	0 až 1300 (1600)
termoelektrické B (PtRh36-PtRh6)	300 až 1600 (1800)
termoelektrické A (WRe5-WRe20)	0 až 2500
termoelektrické N (nicosil-nisil)	-270 až 1370
se světlovody	-11 až 200
s kapalnými krystaly	-20 až 250
iontové	200 až 720
krystalové	-80 až 250
barevné nátěry a tužky	40 až 1400
tavná tělíska a tablety	100 až 1650
keramické žároměrky	600 až 2000
Bezdotykové teploměry:	
pyrometry jasové	650 až 3500
pyrometry pásmové	300 až 2000
pyrometry barvové	700 až 2000
pyrometry radiační	50 až 2300
fototermometrie	-50 až 650
termovize	-50 až 1000 (1500)

Tab. 6 Měřicí rozsah teploměrů

[19]

PŘÍLOHA Č. 7 ZÁKLADNÍ TERMÍNY A DEFINICE Z OBLASTI TERMIVIZE

Zdánlivá teplota (appaarent temperature) – nekompenzované údaje infračervené termografické kamery obsahují veškeré dopadající záření na detektor přístroje a to bez ohledu na zdroj záření.

Útlumové prvky (attenuating media) – okna, filtry, atmosféry, přídatná optika, materiály nebo ostatní prvky a média, které utlumují infračervené záření objektu.

Černé těleso (black body) – Ideální zdroj a pohlcovač zářivé infračervené tepelné energie všech vlnových délek. Ideální černé těleso je popsáno Planckovým zákonem.

Emisivita (emissivity) – Poměr energie vyzařované z povrchu objektu k vyzařované energii černého tělesa se stejnou teplotu jako má objekt a v tom samém spektrálním intervalu.

Infračervená termografická kamera (infrared termography camera), IČT kamera (IRT camera) – přístroj, který snímá vyzařovanou infračervenou energii z povrchu objektu, kterou zobrazuje černobíle nebo barevně, kdy odstíny šedi nebo barevné odstíny odpovídají rozložení zdánlivých teplot na povrchu objektu.

Zpracování obrazu (image processing) – konverze obrazu do digitální formy a další úprava obrazu pro počítačové zpracování nebo vizuální analýzu. Zpracovaný infračervený obraz nebo termogram může obsahovat stupnici teploty, měření teplot v bodech, profily teplot, úpravy obrazu, hodnoty a přiložená data.

Infračervený (infrared) – část elektromagnetického spektra viditelných červených vlnových délek, od 0,75 μm do 1000 μm . Většina měření v infračervené oblasti spektra se provádí ve vlnových délkách od 0,75 μm do 15 μm .

Izoterma (isotherm) – funkce vložená do obrazu, která zvýrazňuje místa se stejnou zdánlivou teplotou.

Infračervená termografie, IČT (infrared thermography) – získávání a rozbor „teplotních“ informací prostřednictvím bezkontaktních zařízení pro zobrazování teplot.

Záření, tepelné (radiation, thermal) – princip (způsob) šíření tepla vyzařováním a pohlcováním elektromagnetického záření, které probíhá rychlostí světla. Na rozdíl od šíření tepla vedením a prouděním se může šířit i ve vakuu. Způsob přenosu tepla, který dovoluje využít infračervenou termografii, protože se přenos infračervené energie z objektu na detektor uskutečňuje zářením.

Odrazivost (reflectivity) – poměr zářivé energie odražené od povrchu objektu k celkové zářivé energii dopadající na tento povrch.

$\rho = 1 - \varepsilon - \tau$, pro ideální zrcadlo se odrazivost rovná 1. Pro absolutně černé těleso je odrazivost 0. Technicky je odrazivost poměrem intenzity odraženého záření k intenzitě celkového záření dopadající na povrch. Reflektance – činitel odrazu je poměr odraženého toku k dopadajícímu toku.

Odražená zdánlivá teplota (reflected apparent temperature) – zdánlivá (zjevná) teplota jiných objektů, která se odráží od povrchu měřeného objektu do termografické kamery.

Opakovatelnost (repeatability) – schopnost přístroje přesně zopakovat měření nepohyblivého objektu v krátkém nebo dlouhém intervalu času. Opakovatelnost je vyjádřena v \pm stupňů nebo procent z celé stupnice.

Zpracování signálu (signal processing) – zpracování signálu teploty nebo dat obrazu pro účely zvýraznění nebo řízení procesu. U bezkontaktních (infračervených) teploměrů jsou to: maximální a minimální zaznamenaná hodnota, zaznamenaný vzorek a průměrná hodnota. U skenerů, kamer a zobrazovačů jsou to: izoterma, průměrování obrazu, seřízení, odečty a filtrace obrazu.

Prostorové rozlišení přístroje (spatial measurement resolution) – velikost měřeného objektu vzhledem k pracovní vzdálenosti. U infračervených teploměrů je tato hodnota uváděná v miliradiánech nebo jako poměr velikosti (průměru) měřicího bodu k pracovní vzdálenosti. U skenerů, kamer a zobrazovačů je tato hodnota vyjádřena v miliradiánech.

Měřený objekt (target) – povrch objektu, který je měřen.

Termogram (thermogram) – teplotní mapa nebo obraz objektu, ve kterém je pomocí šedého tónování nebo barevného zobrazení vyjádřeno rozložení vyzařované infračervené energie z povrchu měřeného objektu.

Propustnost τ (transmissivity), transmittance (transmittance) – část infračervené zářivé energie dopadající na povrch objektu v určitém spektrálním intervalu, která objektem prostupuje.

$$\tau = 1 - \varepsilon - \rho, \quad (1)$$

kde τ je propustnost,

ε je emisivita

a ρ je odrazivost.

Pro absolutně černé těleso je $\tau = 0$. Propustnost vyjadřuje tu část na objekt dopadajícího záření, která objektem prostoupí.

Pracovní vzdálenost (working distance) – vzdálenost od měřeného objektu k měřicímu přístroji, obvykle k jeho vstupní optice.

[24]

PŘÍLOHA Č. 8 ZÁVISLOST TEPLOTY NA ČASE

V této části experimentu byly hodnoceny materiály M1 – M8. Při různé teplotě, nebo různé relativní vlhkosti. Každý materiál byl nejdříve klimatizován v klimatizační komoře na danou teplotu, nebo relativní vlhkost, dle potřeby. Pak byl materiál nasnímán termovizní kamerou. Pomocí příkazu *periodické snímání* byly vytvořeny snímky. Materiál se snímal 120 vteřin, v intervalu po 10 vteřinách. Snímky byly vyhodnoceny v programu Therma CAM Researcher. Nakonec byla data vyhodnocována v programu MS Office. V níže uvedených grafech je znázorněná závislost teploty různých materiálů na čase. Každý graf je doplněn tabulkou s hodnotami, které ukazují, jak se měnila teplota materiálu v průběhu 120 vteřin. Ve všech případech je teplota zkoumaného materiálu vyšší než teplota okolí, materiál se ochlazoval na úkor svého okolí. Tato výměna tepla by pokračovala až do stavu, kdy by nastala rovnováha mezi teplotou zkoumaného materiálu a teplotou okolí. Celková výměna energie by pak byla nulová.

V průběhu 120 vteřin se každý materiál ochlazuje jinak rychle. Z jednotlivých grafů v příloze je vidět, že pro teplotu **T1** ($T = 30\text{ °C}$ a $RH = 65\%$) se nejrychleji ochlazuje materiál M3 společně s materiálem M4. Rozdíl mezi počáteční teplotou a konečnou teplotou je $3,6\text{ °C}$. Nejpomaleji se ochlazuje materiál M1, který se ochladil o $1,6\text{ °C}$.

Pro teplotu **T2** ($T = 33\text{ °C}$ a $RH = 65\%$) se nejrychleji ochlazuje materiál M4. Rozdíl mezi počáteční teplotou ($28,8\text{ °C}$) a konečnou teplotou ($23,8\text{ °C}$) je 5 °C . Nejpomaleji se ochlazuje materiál M6, který se ochladil o $2,7\text{ °C}$.

V průběhu 120 vteřin se pro teplotu **T3** ($T = 36\text{ °C}$ a $RH = 65\%$) nejrychleji ochlazuje materiál M8. Rozdíl mezi počáteční teplotou ($31,7$) a konečnou teplotou ($24,2$) je $7,5\text{ °C}$. Nejpomaleji se ochlazuje materiál M2. Tady je rozdíl mezi počáteční teplotou ($32,2$) a konečnou teplotou ($28,5$) $3,7\text{ °C}$.

Pro relativní vlhkost **RH1** ($T = 33\text{ °C}$ a $RH = 50\%$) se nejrychleji ochlazuje materiál M3. Jeho teplota klesla z $29,6\text{ °C}$ na $24,5\text{ °C}$ (klesla o $5,1\text{ °C}$).

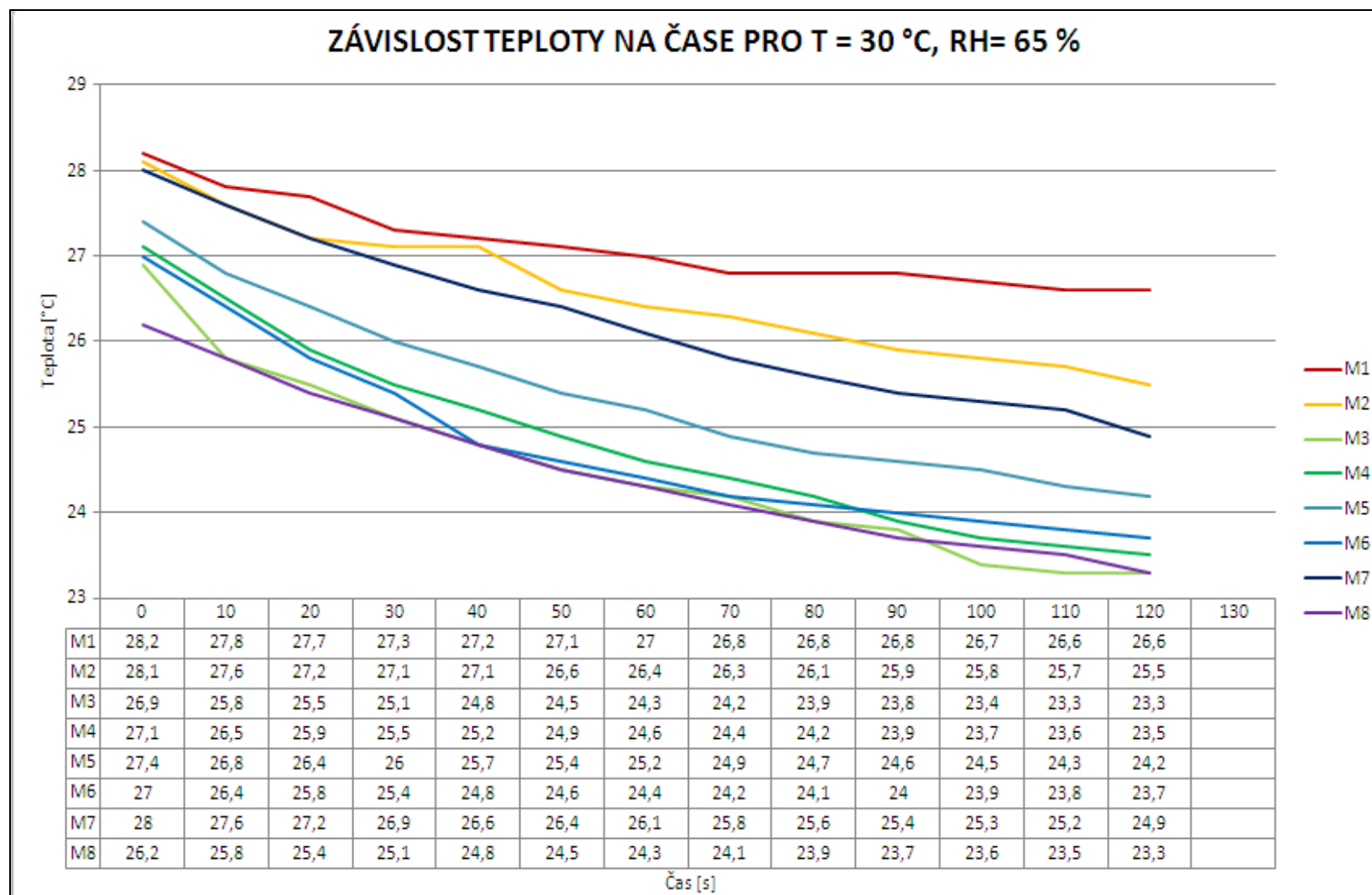
Pro relativní vlhkost **RH2** ($T = 33\text{ °C}$ a $RH = 65\%$) se nejrychleji ochlazuje materiál M4. Rozdíl mezi počáteční teplotou ($28,8\text{ °C}$) a konečnou teplotou ($23,8\text{ °C}$) je 5 °C . Nejpomaleji se ochlazuje materiál M6, který se ochladil o $2,7\text{ °C}$.

Pro relativní vlhkost **RH3** ($T = 33\text{ °C}$ a $RH = 80\%$) se nejrychleji ochlazují materiály M1, M2 a M8. Rozdíl mezi počáteční teplotou a konečnou teplotou je $4,6\text{ °C}$. Nejpomaleji se ochlazuje materiál M4, který se ochladil o $3,4\text{ °C}$.

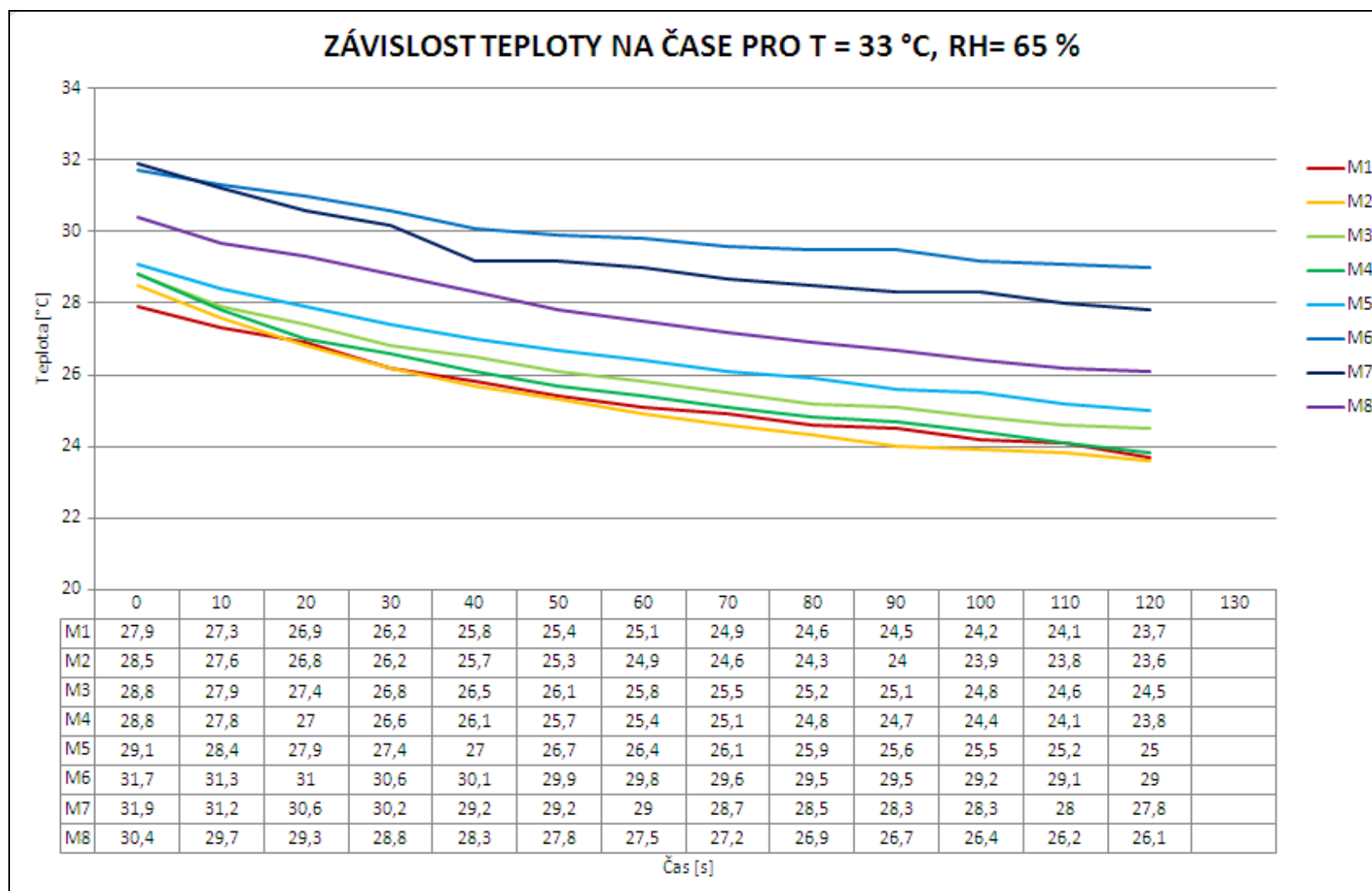
<i>Teplota T= 30 °C, relativní vlhkost RH = 65 % (T1)</i>								
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
Str. hodnota	27,12	26,57	24,52	24,85	25,39	24,78	26,23	24,48
Medián	27	26,4	24,3	24,60	25,20	24,40	26,10	24,30
Směr. odchylka	0,5	0,80	1,08	1,15	1,01	1,06	0,98	0,93
Rozptyl výběru	0,25	0,64	1,16	1,31	1,02	1,1226,23	0,96	0,86
<i>Teplota T = 33 °C, relativní vlhkost RH = 65 % (T2), (RH2)</i>								
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
Str. hodnota	25,43	25,32	26,08	25,72	26,63	30,02	29,30	27,79
Medián	25,10	24,90	25,80	25,40	26,40	29,80	29	27,50
Směr. odchylka	1,31	1,56	1,34	1,49	1,27	0,87	1,29	1,41
Rozptyl výběru	1,73	2,43	1,80	2,23	1,62	0,76	1,66	1,98
<i>Teplota T= 36 °C, relativní vlhkost RH = 65 % (T3)</i>								
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
Str. hodnota	29,3	30,2	27,21	27,03	28,06	29,81	29,97	26,84
Medián	28,9	29,8	26,6	26,4	27,70	29,50	29,60	26,20
Směr. odchylka	1,42	1,17	2,17	2,17	1,83	1,97	2,09	2,43
Rozptyl výběru	2,025	1,36	4,70	4,69	3,35	3,86	4,36	5,92

<i>Teplota $T = 33\text{ }^{\circ}\text{C}$, relativní vlhkost $RH = 50\%$ (RH1)</i>								
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
Str. hodnota	29,08	29,55	26,37	27,85	26,52	27,88	27,89	26,61
Medián	29,10	29,50	25,80	27,50	26,30	27,70	27,70	26,40
Směr. odchylka	0,90	0,63	1,67	1,42	1,39	1,27	1,43	1,34
Rozptyl výběru	0,80	0,40	2,79	2,00	1,93	1,61	2,04	1,81
<i>Teplota $T = 33\text{ }^{\circ}\text{C}$, relativní vlhkost $RH = 80\%$ (RH3)</i>								
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
Str. hodnota	24,98	25,71	24,47	25,38	25,76	26,76	27,72	25,58
Medián	24,70	25,50	24,10	25,00	25,60	26,40	27,50	25,50
Směr. odchylka	1,44	1,38	1,21	1,11	1,25	1,24	1,44	1,54
Rozptyl výběru	2,06	1,90	1,46	1,22	1,57	1,54	2,07	2,36

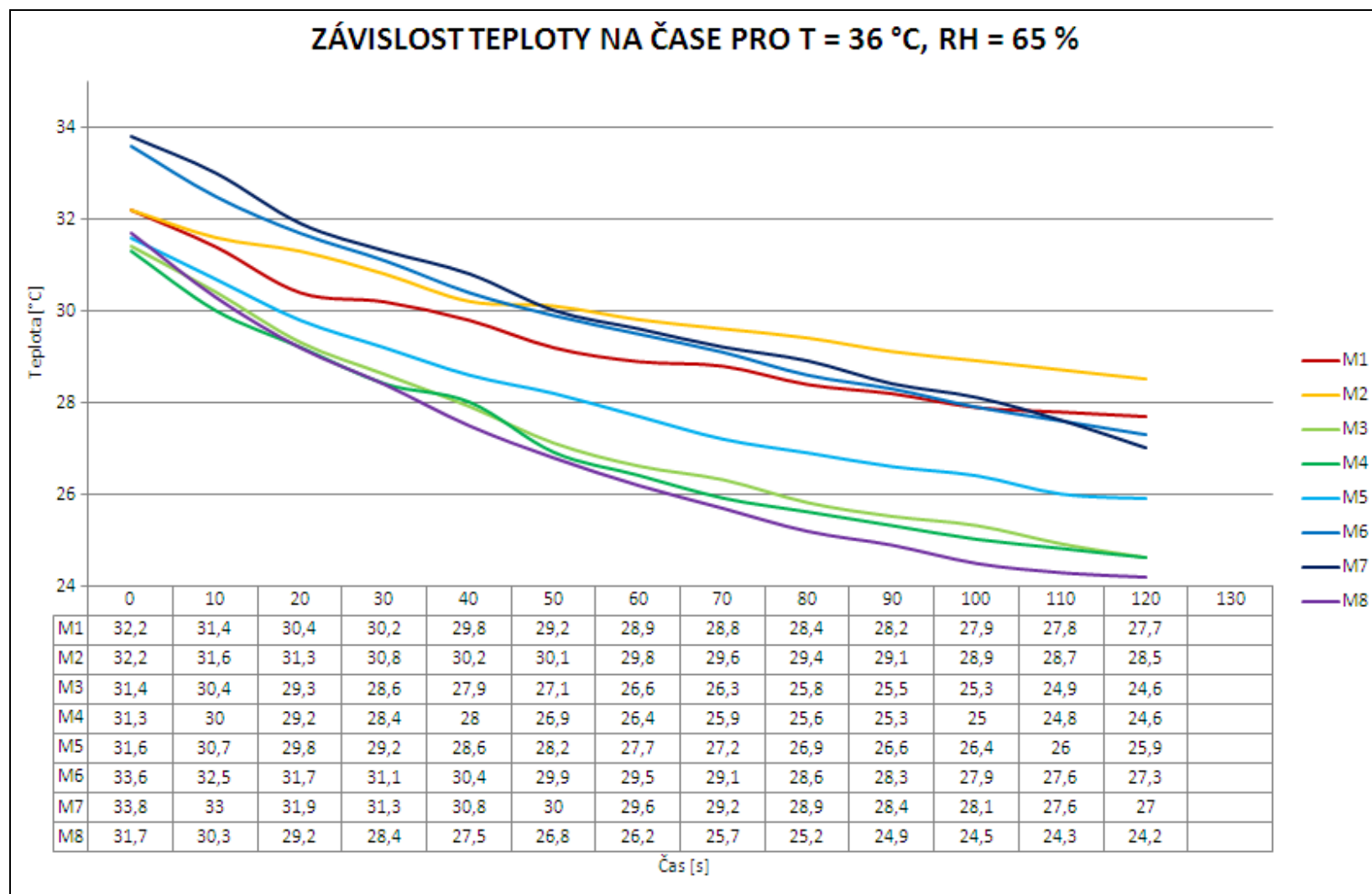
Tab. 7 Závislost teploty na čase



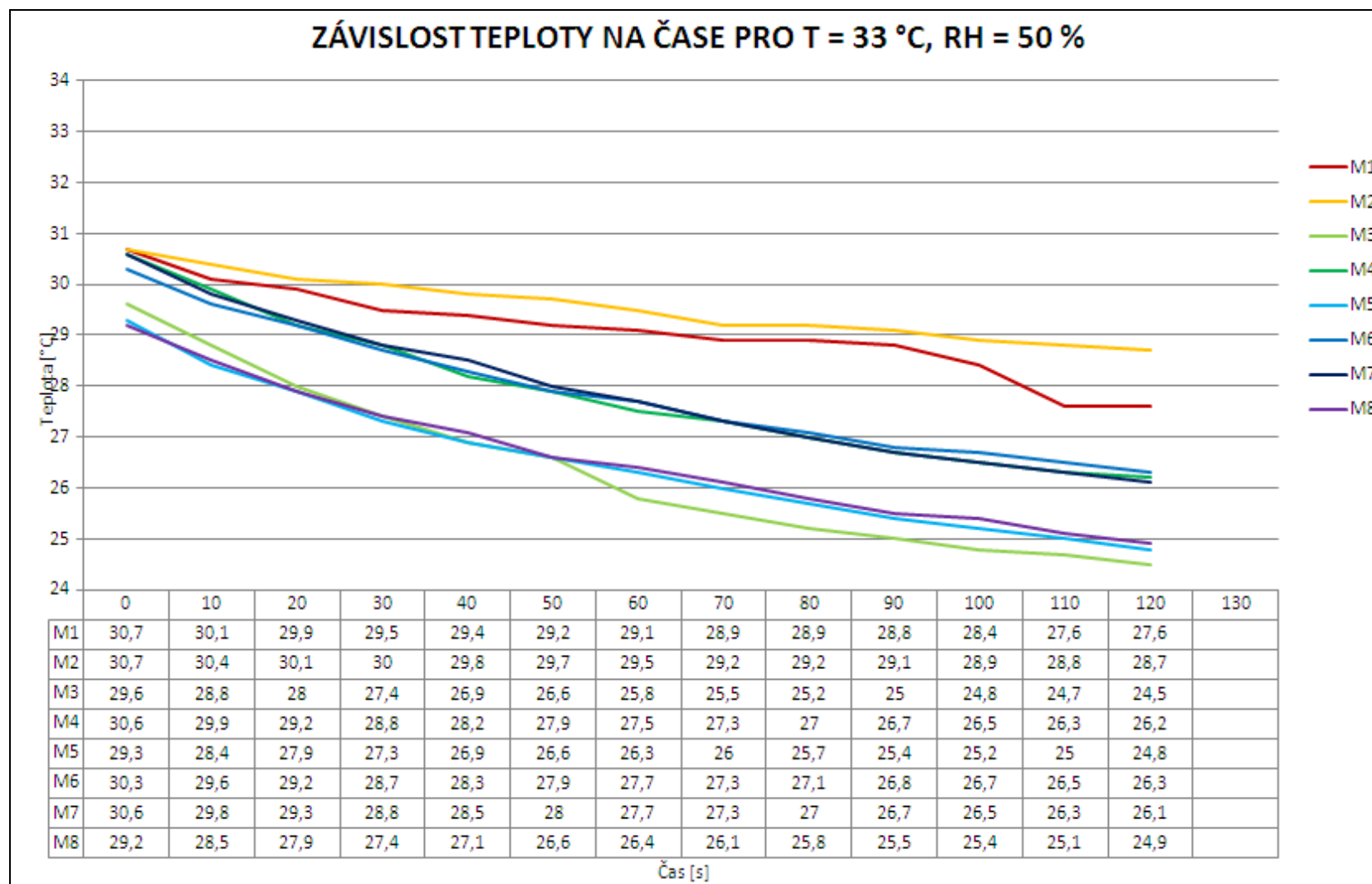
Graf 1 Závislost teploty na čase pro T1



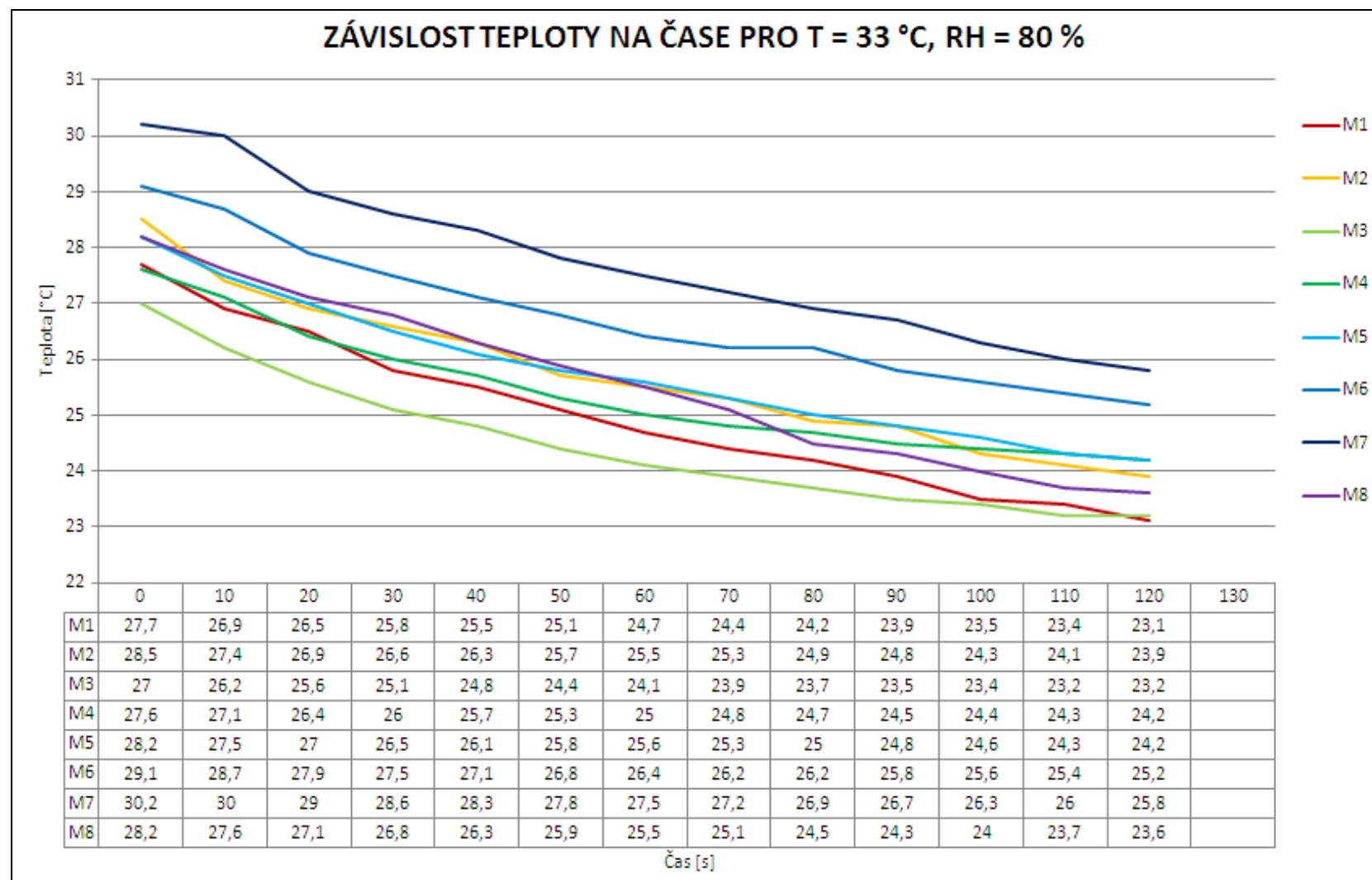
Graf 2 Závislost teploty na čase pro T2 a RH2



Graf 3 Závislost teploty na čase pro T3



Graf 4 Závislost teploty na čase pro RH1



Graf 5 Závislost teploty na čase pro RH3

PŘÍLOHA Č. 9 TEPOVÁ FREKVENCE

Tepová frekvence (TF) udává počet tepů (stahů) srdce během jedné minuty. Vypovídá o zatížení organismu nejen během sportovní aktivity. Osobní pocity jsou subjektivní. Pohybová aktivita by měla být pro organismus přínosem, nikoli zhoubou. Není dobré volit příliš vysoké zatížení. U cvičení za účelem zlepšení či udržení zdravotního stavu, či zvýšení fyzické kondice a zvýšení výkonu je zapotřebí přesnější sledování tepové frekvence.

Klidová tepová frekvence (TF klid) je dle [30] daná počtem úderů srdce za minutu, když je člověk naprosto v klidu. Na tuto hodnotu má vliv věk, fyzická kondice, dědičné předpoklady, zdravotní stav a v neposlední řadě pohlaví. U dospělého člověka se pohybuje kolem 60 – 80 tepy za minutu. U vrcholových sportovců klesne i pod 30 tepů za minutu.

Maximální tepová frekvence (TF max) je dle [30] nevyšší tepová frekvence dosažená při maximálním vyčerpání organismu. Liší se v závislosti na fyzické kondici, dědičných předpokladech a věku. U dospělých ji můžeme stanovit podle věku u mužů:

$$TF \max = 220 - \text{věk}, \quad (2)$$

a u žen:

$$TF \max = 226 - \text{věk}, \quad (3)$$

Aktuální tepová frekvence (ATF) udává dle (30) současné zatížení organismu. ATF má vliv na spalování či nespalování tuků, vytváření svalů, snižování hladiny cholesterolu, ...

Při příliš vysoké frekvenci dochází k trénování síly a vytrvalosti, ale nedochází ke spalování tuků. Při příliš nízké tepové frekvenci se prakticky nic neděje. Jde o neefektivní cvičení.

Mezi maximální a klidovou tepovou frekvencí se nachází rozmezí, v němž se může tepová frekvence lišit v závislosti na stupni námahy. Tréninkovou tepovou frekvenci lze odhadnout několika způsoby:

- na základě věku – metoda je vhodná na začátku cvičení, člověk si na pohyb zvyká. Standardní odchylka je až 10 tepů
- použití Karvonenovy rovnice – přesnější stanovení tréninkové tepové frekvence. Cvičící si musí změřit klidovou tepovou frekvenci a dle níže uvedeného vzorce se vypočte tréninková tepová frekvence

$$\text{Tréninková TF} = \text{cílová intenzita} * (\text{TF max} - \text{TF klid}) + \text{TF klid}, \quad (4)$$

- odvozením z terénného zátěžového testu. Testuje se například, za jak dlouho ujede člověk 2 km a na základě získaných údajů je stanovena tréninková tepová frekvence
- odvozením ze zátěžového testu prováděných ve specializovaných laboratořích.

Na tepovou frekvenci při cvičení má vliv maximální a klidová tepová frekvence, fyzická kondice, intenzita a druh cvičení, zdatnost, stavba těla, okolní faktory, nálada, hormonální stav, nevyvážená strava, alkoholizmus a také kouření. Uvádějí se čtyři cílové zóny tepové frekvence – podle cíle cvičení a podle základní fyzické kondice daného člověka.

Lehká intenzita 50% - 60% TFmax - může vést ke zlepšení fyzické kondice u lidí s velmi špatnou kondicí.

Lehká a střední intenzita 60% - 70% - zvyšuje kardiovaskulární kapacitu svalů, šlach a vazů- zvyšuje vytrvalost, zlepšení zdravotního stavu, regulace váhy.

Střední a těžká intenzita 70% - 85% - zlepšení kardiovaskulární kondice, zvyšuje vytrvalost, tělo přivyká vyššímu tempu.

Těžká až maximální intenzita 85% - 95% - zvyšuje odolnost proti vytváření kyseliny mléčné, vylepšuje jednorázový výkon, cvičení v aerobní zóně.

TF max	50%	65%	75%	85%	90%
206	103	134	155	175	186
204	102	133	153	173	184
202	101	131	152	172	182
200	100	130	150	170	180
198	99	129	149	168	178

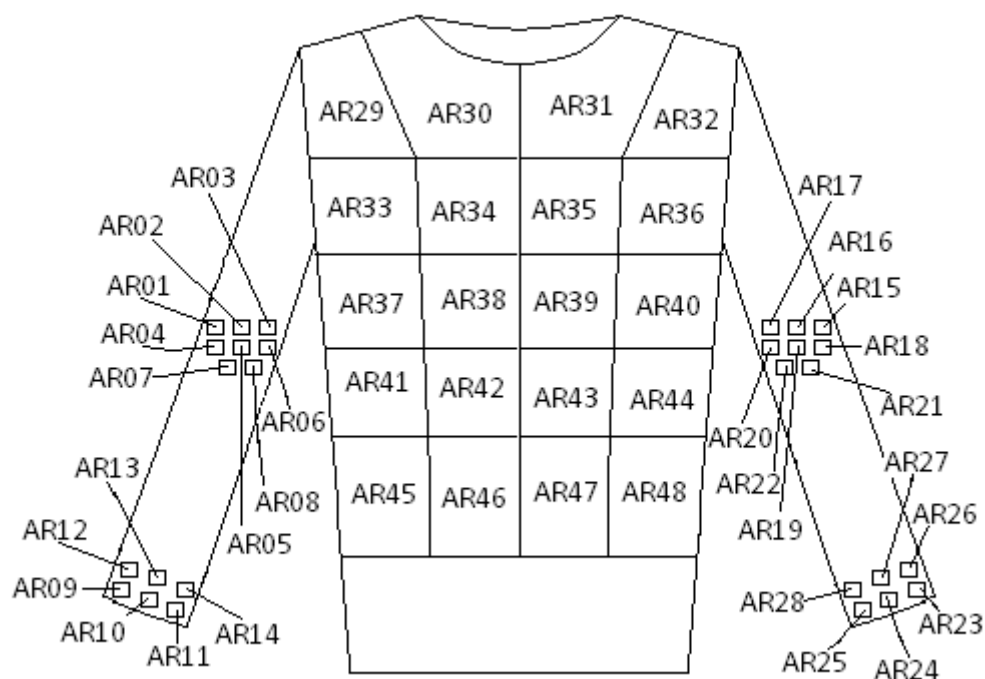
196	98	127	147	167	176
194	97	126	146	165	175
192	96	125	144	163	173
190	95	124	143	162	171
188	94	122	141	160	169
186	93	121	140	158	167
184	92	120	138	156	166
182	91	118	137	155	164
180	90	117	135	153	162
178	89	116	134	151	160
176	88	114	132	150	158
174	87	113	131	148	157
172	86	112	129	146	155
170	85	111	128	145	153
168	84	109	126	143	151
166	83	108	125	141	149
164	82	107	123	139	148
162	81	105	122	138	146
160	80	104	120	136	144
158	79	103	119	134	142
156	78	101	117	133	140
154	77	100	116	131	139
152	76	99	114	129	137
150	75	98	113	128	135

Tab. 8 Tabulka tréninkové tepové frekvence [30]

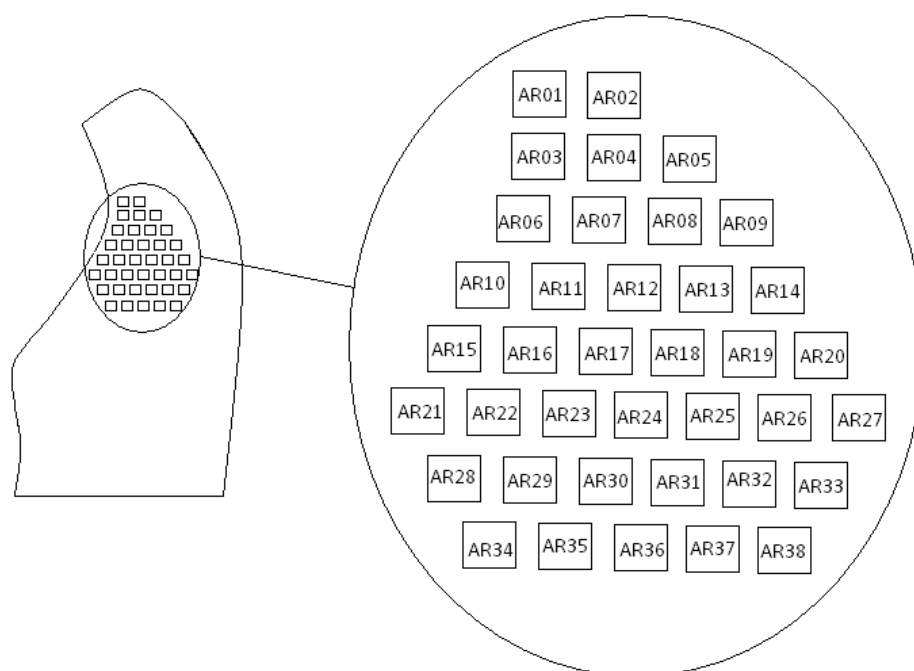
Tepová odchylka 10 až 20 tepů.

[30]

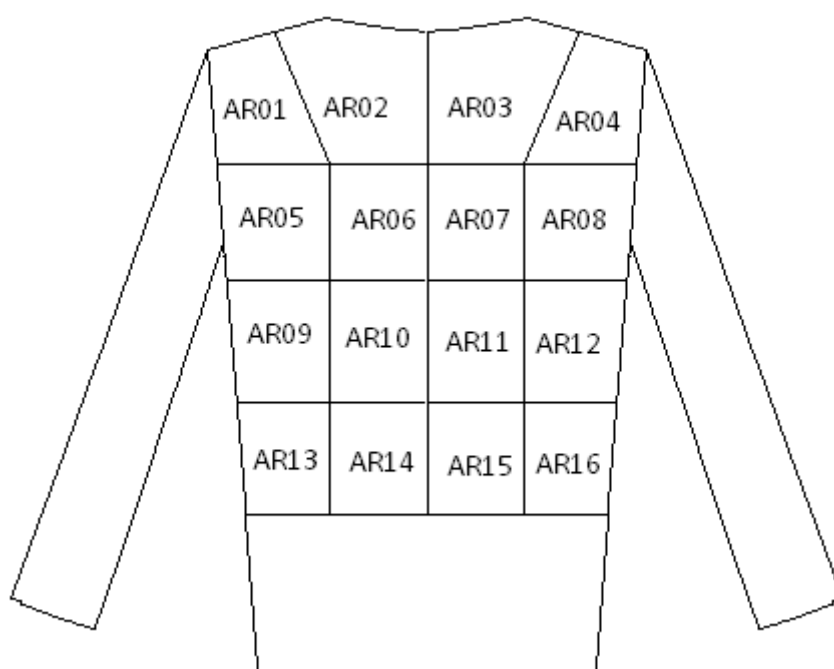
PŘÍLOHA Č. 10 HODNOCENÍ TEPLOTNÍCH POLÍ TERMOPRÁDLA S POUŽITÍM TERMOVIZNÍ KAMERY



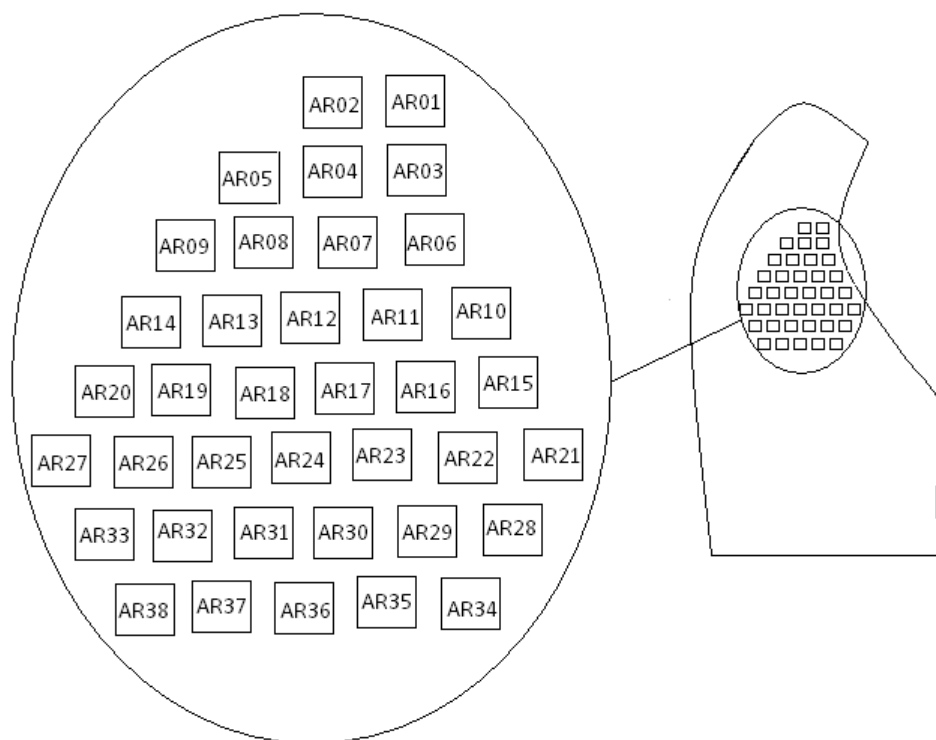
Obr. 16 Tzv. mapy vytvořené na předním díle termoprádla, v oblasti loktů a v oblasti zápěstí



Obr. 17 Mapy vytvořené v oblasti levého podpaží

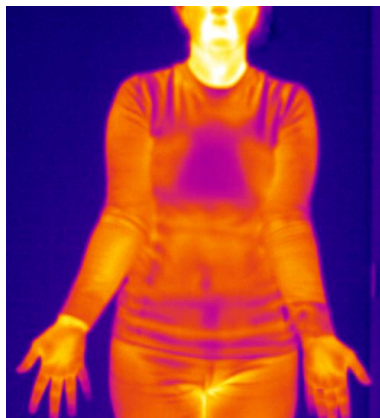


Obr. 18 Mapy vytvořené na zadním díle termoprádla

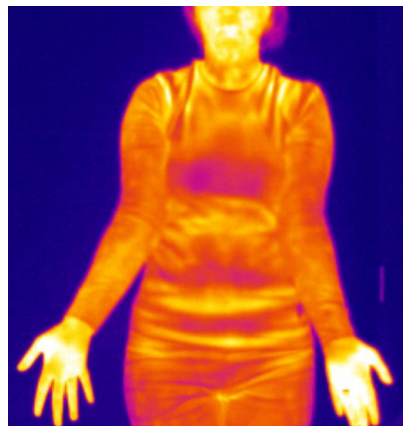


Obr. 19 Mapy vytvořené v oblasti pravého podpaždí

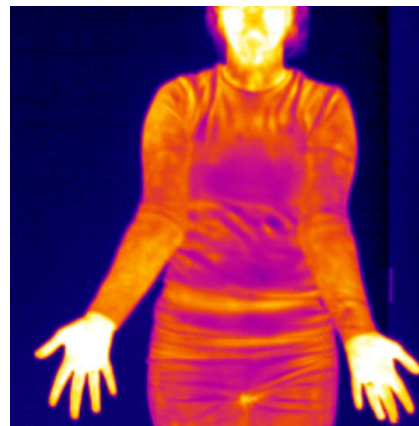
Vyhodnocení teplotních polí termoprádla – pohled zepředu



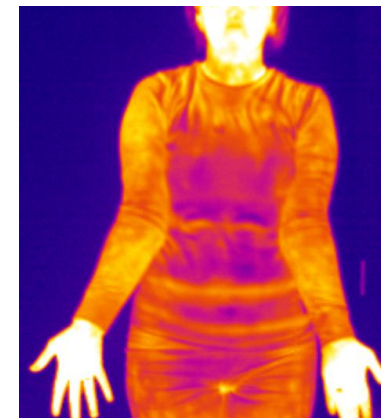
Obr. 20 První snímek, před měřením



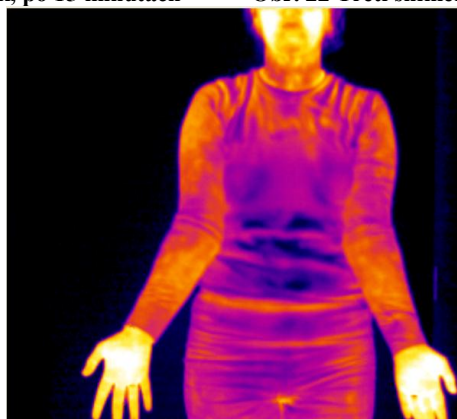
Obr. 21 Druhý snímek, po 15 minutách



Obr. 22 Třetí snímek, po 30 minutách



Obr. 23 Čtvrtý snímek, po 45 minutách



Obr. 24 Pátý snímek, po 60 minutách

Snímek před měřením							Snímek po 15 minutách							Snímek po 30 minutách					
Label	Min	Max	Max - Min	Avg	Stdev		Label	Min	Max	Max - Min	Avg	Stdev		Label	Min	Max	Max - Min	Avg	Stdev
Image	20,2	35,6	15,5				Image	21	35,6	14,5				Image	21,2	36,8	15,7		
AR01	24,6	28,4	3,8	27,3	1		AR01	25,2	28,2	3	27,3	0,6		AR01	27,7	29,5	1,8	28,5	0,5
AR02	28,5	29,3	0,8	28,9	0,2		AR02	27,7	29,4	1,6	28,5	0,4		AR02	27,5	28,9	1,4	28,1	0,3
AR03	28,5	29,3	0,8	28,9	0,2		AR03	28,3	29,2	0,9	28,7	0,3		AR03	28,6	29,7	1,1	29,2	0,2
AR04	26,2	30,2	4	28,8	0,9		AR04	27,8	29,5	1,7	28,6	0,4		AR04	27,9	29,9	2	29,1	0,5
AR05	28	29,6	1,6	28,9	0,4		AR05	28	30	2	29,1	0,5		AR05	27,6	29,8	2,2	28,8	0,6
AR06	28,2	30	1,8	29	0,3		AR06	28,3	29,2	0,8	28,6	0,2		AR06	28,2	30	1,8	29	0,5
AR07	29,1	30,5	1,4	29,6	0,3		AR07	28,5	30,2	1,7	29,3	0,5		AR07	29,1	30,9	1,9	29,9	0,5
AR08	28,4	30,6	2,2	29,6	0,6		AR08	28,3	30	1,7	29,4	0,4		AR08	29,2	30,9	1,7	30,2	0,5
AR09	27,1	28	0,9	27,6	0,2		AR09	29,2	31,4	2,3	30,1	0,4		AR09	28,7	30,1	1,4	29,9	0,3
AR10	27,8	28,2	0,4	28	0,1		AR10	28,5	29,7	1,1	29	0,3		AR10	28,8	29,7	0,9	29,3	0,3
AR11	27,6	28,4	0,8	28	0,2		AR11	26,5	29	2,5	28,5	0,5		AR11	27,9	29,1	1,2	28,7	0,2
AR12	27,3	28,4	1,1	27,9	0,3		AR12	29,9	30,5	0,6	30,2	0,2		AR12	28,7	30,6	1,9	30	0,4
AR13	28,2	28,6	0,4	28,4	0,1		AR13	29,1	30,1	1	29,7	0,2		AR13	29	29,7	0,7	29,3	0,2
AR14	28,4	28,8	0,3	28,6	0,1		AR14	28,4	29,6	1,2	29,1	0,3		AR14	27,4	29,2	1,8	28,9	0,3
AR15	25,6	27,7	2,1	26,9	0,5		AR15	26,4	27,6	1,2	27	0,3		AR15	27,8	29	1,2	28,4	0,3

AR16	27,6	29,1	1,5	28,4	0,4		AR16	27,3	28,7	1,4	28	0,4		AR16	27,9	29,1	1,2	28,3	0,3
AR17	28,7	29,8	1,1	29,2	0,3		AR17	28,4	29,5	1,1	28,8	0,2		AR17	28	29,8	1,8	29,2	0,4
AR18	24,8	27,9	3,1	26,5	0,9		AR18	26,4	27,7	1,4	27,2	0,3		AR18	27,6	28,8	1,2	28	0,3
AR19	27,3	28,5	1,2	28	0,2		AR19	27,5	29,3	1,8	28,4	0,5		AR19	26,8	29,5	2,7	28,1	0,9
AR20	28,4	29,5	1,2	28,9	0,3		AR20	27,8	28,9	1,1	28,4	0,3		AR20	28,1	29,8	1,8	28,8	0,4
AR21	28,7	29,7	0,9	29,2	0,2		AR21	28	28,9	0,9	28,4	0,3		AR21	28,2	29,3	1,2	28,8	0,3
AR22	28,9	30,3	1,3	29,8	0,3		AR22	28,9	29,6	0,7	29,3	0,2		AR22	28,2	30	1,8	29,2	0,5
AR23	25	27,2	2,2	26,6	0,5		AR23	27	29	2	28,3	0,4		AR23	26,5	28,8	2,2	28,3	0,5
AR24	27,4	28,2	0,8	27,8	0,2		AR24	27,9	29,5	1,6	28,5	0,4		AR24	28,3	29,9	1,6	29	0,4
AR25	27,1	28,2	1,1	27,6	0,3		AR25	26,3	29	2,7	28,2	0,6		AR25	27,5	28,9	1,3	28,2	0,4
AR26	26,1	27	0,9	26,8	0,2		AR26	27,1	29	1,9	28,4	0,4		AR26	27,6	29,5	1,9	28,9	0,5
AR27	27	27,9	0,9	27,5	0,2		AR27	28,4	29,4	1	29,1	0,3		AR27	28,6	29,7	1,1	29,1	0,3
AR28	26,7	27,8	1,2	27,3	0,3		AR28	27,4	28,9	1,6	28,4	0,3		AR28	27,5	28,7	1,2	28,1	0,4
AR29	23,2	29,2	6	26,9	1,2		AR29	23,6	34,7	11,1	30,2	1,9		AR29	25,1	32,4	7,2	29,2	1,3
AR30	23,2	31,3	8,1	28,1	1,4		AR30	23	33,7	10,8	30,3	1,5		AR30	23,9	32,4	8,5	29,4	1,2
AR31	23,7	33,8	10,1	28,5	1,2		AR31	26,3	34,4	8,1	30,4	1,3		AR31	25,8	34,3	8,5	29,4	1,2
AR32	22,6	29,8	7,2	26,5	1,4		AR32	23,8	34,2	10,5	30,2	2		AR32	23,5	31,6	8,1	28,9	1,4
AR33	25,5	30,2	4,7	27,4	1,1		AR33	26,9	32,2	5,3	28,9	1,1		AR33	25,8	31,2	5,4	27,4	1,1
AR34	24,6	28,4	3,8	26,7	1		AR34	26,8	31,3	4,5	29	1		AR34	26	30,8	4,8	27,6	0,9
AR35	24,8	29,1	4,3	26,8	1		AR35	27,2	31,8	4,6	29,1	1		AR35	26,2	30,7	4,5	28,2	0,9

AR36	24,6	30,4	5,8	26,8	1,2		AR36	27,7	31,5	3,8	29,1	0,8		AR36	26	29,9	3,9	27,6	0,8
AR37	26,4	29,3	2,9	27,6	0,6		AR37	26,4	29,8	3,4	27,5	0,7		AR37	25	29,3	4,2	26,6	0,7
AR38	24,6	27,7	3,1	25,7	0,9		AR38	25,6	30,1	4,5	26,9	0,9		AR38	25	26,8	1,7	26,1	0,4
AR39	24,7	27,9	3,3	25,9	0,9		AR39	26,2	30,6	4,5	27,2	0,8		AR39	25,5	27,6	2,1	26,3	0,3
AR40	26,9	30,4	3,5	28,4	0,6		AR40	27,1	30,2	3,1	28,2	0,5		AR40	25,9	28,6	2,7	27	0,6
AR41	26,6	30,2	3,5	28,3	0,7		AR41	27,5	31,4	3,8	29,3	0,8		AR41	24,8	31,2	6,4	27,7	1,5
AR42	26,5	29,8	3,3	28,5	0,9		AR42	27,4	32,1	4,6	29,7	1		AR42	24,3	29,3	5,1	26,4	1
AR43	26,4	29,5	3	28,2	0,8		AR43	28	31,2	3,3	29,7	0,8		AR43	23,6	28,2	4,7	25,9	1
AR44	26,9	29,9	3	28,3	0,6		AR44	27,7	31,4	3,7	29,3	1		AR44	25,3	29,6	4,4	26,7	0,8
AR45	26,4	29,5	3,1	28	0,5		AR45	26,2	30,6	4,4	28,3	0,9		AR45	25,6	30,3	4,7	27,7	1,1
AR46	26,4	29,5	3,1	28,1	0,6		AR46	26,7	30,8	4,1	27,9	1		AR46	24,9	29,8	4,9	26,8	1,3
AR47	27,2	29,5	2,2	28,2	0,5		AR47	26,4	31	4,6	28	1,1		AR47	23,8	29,8	6	26,2	1,7
AR48	26,4	29,3	2,8	28	0,5		AR48	27	31,3	4,3	28,8	1		AR48	25	30,1	5,1	27,3	1,3

Tab. 9 První část tabulky – přehled teplot jednotlivých map na předním díle, v oblasti loktů a v oblasti zápěstí

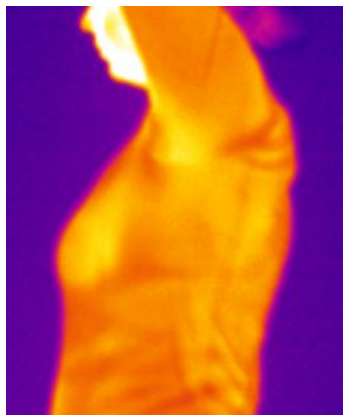
Snímek po 45 minutách							Snímek po 60 minutách					
Label	Min	Max	Max - Min	Avg	Stdev		Label	Min	Max	Max - Min	Avg	Stdev
Image	21,2	36,8	15,7				Image	18,9	35,2	16,4		
AR01	27,7	29,5	1,8	28,5	0,5		AR01	24,5	26,1	1,5	25,2	0,4
AR02	27,5	29,1	1,6	28,1	0,4		AR02	25,2	27,2	2,1	26,2	0,6
AR03	29	29,7	0,7	29,3	0,2		AR03	25,6	27,3	1,7	27	0,3
AR04	28,1	29,9	1,8	29,1	0,5		AR04	25	26,9	1,9	26,1	0,6

AR05	27,6	29,7	2,1	28,4	0,5		AR05	25,2	27,4	2,2	26,1	0,5
AR06	28,2	29,9	1,7	29,1	0,5		AR06	26,2	27,8	1,5	27	0,4
AR07	29,1	30,5	1,5	29,5	0,3		AR07	26,4	27,8	1,3	26,8	0,3
AR08	28,7	30,9	2,2	30,1	0,6		AR08	26,9	28,7	1,8	28,1	0,4
AR09	26,1	30,1	4	29,6	0,9		AR09	26,8	27,7	0,9	27,4	0,2
AR10	28,8	30,4	1,6	29,3	0,4		AR10	26,3	27,5	1,2	26,7	0,3
AR11	26,9	30,2	3,3	28,7	0,5		AR11	23,3	26,9	3,6	26,3	0,7
AR12	29,5	30,2	0,7	30	0,2		AR12	27,3	27,9	0,6	27,6	0,1
AR13	29	29,7	0,7	29,3	0,2		AR13	26,6	27,5	0,8	27,2	0,2
AR14	28,1	29,1	1	28,9	0,2		AR14	26,4	27,1	0,7	26,7	0,2
AR15	26,4	29	2,6	28,2	0,4		AR15	25	26,3	1,3	25,7	0,2
AR16	27,9	29,2	1,3	28,5	0,4		AR16	25,3	27	1,6	26	0,4
AR17	28,4	29,8	1,4	29,1	0,4		AR17	26,5	27,2	0,7	26,9	0,2
AR18	27,4	28,3	0,8	27,8	0,2		AR18	24,6	26,5	1,9	25,5	0,5
AR19	26,8	29,3	2,5	27,8	0,7		AR19	24,2	27,7	3,6	26,1	1
AR20	27,5	29,5	2	28,7	0,5		AR20	26	27,7	1,7	26,4	0,4
AR21	28,2	29,3	1,2	28,8	0,3		AR21	26,6	28,4	1,8	27,4	0,5
AR22	28,1	29,8	1,7	29	0,4		AR22	25,7	27,6	1,9	26,8	0,5
AR23	28	29,1	1,2	28,5	0,3		AR23	26	27,4	1,5	26,6	0,4
AR24	28	29,9	1,9	28,9	0,5		AR24	25,5	27,2	1,7	26,6	0,4
AR25	26,5	28,9	2,4	28	0,6		AR25	21,7	27,2	5,5	25,2	1,3
AR26	27,8	29,5	1,7	29	0,4		AR26	26,6	27,2	0,6	26,9	0,2
AR27	28,6	29,7	1,1	29,1	0,3		AR27	25,5	27,1	1,6	26,2	0,4
AR28	27,5	28,7	1,2	28	0,4		AR28	24	26	2,1	25	0,4
AR29	23,7	32,4	8,6	29,2	1,4		AR29	23,1	30,8	7,7	26,7	1,6
AR30	24,4	32,4	8	29,5	1,2		AR30	23,2	29,9	6,6	26,8	1,3
AR31	27	34,3	7,3	29,6	1,2		AR31	23,2	31,4	8,2	26,8	1,4

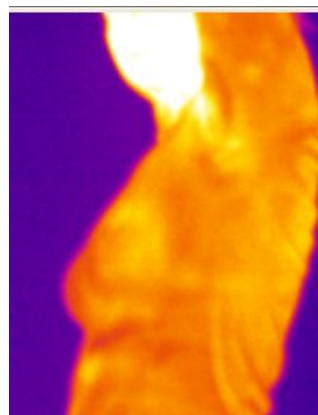
AR32	23,3	31,6	8,3	28,8	1,4		AR32	23	29,2	6,2	26,4	1,3
AR33	25,7	31,2	5,5	27,6	1,3		AR33	23,1	26,7	3,6	24,9	0,7
AR34	26	30,8	4,8	27,8	0,9		AR34	23,9	28,1	4,2	25,6	0,8
AR35	26,1	30,9	4,7	28,3	1		AR35	23,9	29,2	5,3	26,1	1
AR36	26	30,4	4,4	27,7	0,9		AR36	22,9	28	5,1	25,1	0,8
AR37	25,2	28,9	3,6	26,6	0,6		AR37	22,9	26,1	3,1	24,1	0,4
AR38	25,2	26,8	1,7	26,1	0,4		AR38	22,8	24,9	2,1	24	0,5
AR39	25,6	27,6	1,9	26,4	0,3		AR39	23	25,1	2,2	24,4	0,5
AR40	26	28,8	2,8	27,1	0,6		AR40	23,7	26,3	2,6	24,8	0,6
AR41	24,8	31,1	6,3	27,4	1,4		AR41	21,3	26,5	5,2	24,3	1,2
AR42	24,3	29,3	5,1	26,4	1		AR42	20,8	25,5	4,7	22,8	1
AR43	23,6	28,2	4,7	25,9	1		AR43	20,8	25,9	5,1	23,2	1,3
AR44	25,5	29,1	3,6	26,9	0,8		AR44	22,6	26,2	3,6	24,5	0,7
AR45	25,4	30,3	4,9	27,6	1,1		AR45	22,5	28,3	5,7	24,7	1,4
AR46	24,6	29,8	5,2	26,7	1,3		AR46	21,1	27,4	6,4	23,3	1,1
AR47	23,8	29,8	6	26,1	1,7		AR47	20,8	26,4	5,6	23,1	1,2
AR48	25	30,1	5	27,3	1,3		AR48	21,5	28	6,5	24,7	1,4

Tab. 10 Druhá část tabulky – přehled teplot jednotlivých map na předním díle, v oblasti loktů a v oblasti zápěstí

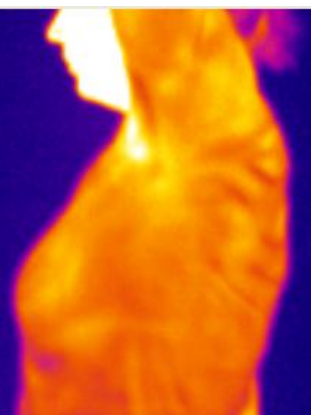
Vyhodnocení teplotních polí termoprádla – oblast levého podpaží



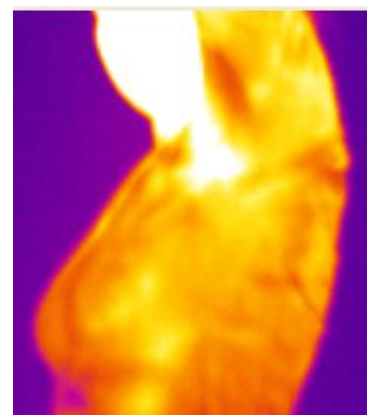
Obr. 25 První snímek, před měřením



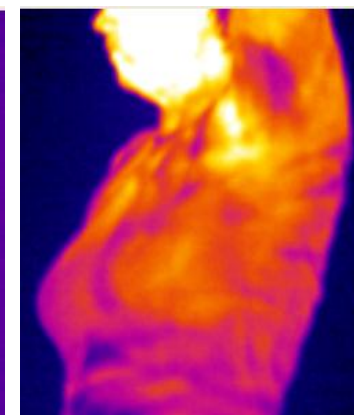
Obr. 26 Druhý snímek, po 15 minutách



Obr. 27 Třetí snímek, po 30 minutách



Obr. 28 Čtvrtý snímek, po 45 minutách



Obr. 29 Pátý snímek, po 60 minutách

Snímek před měřením							Snímek po 15 minutách							Snímek po 30 minutách					
Label	Min	Max	Max - Min	Avg	Stdev		Label	Min	Max	Max - Min	Avg	Stdev		Label	Min	Max	Max - Min	Avg	Stdev
Image	20,3	34,3	14				Image	21,4	35,6	14,2				Image	19,9	35,4	15,5		
AR01	28,3	30,3	2,1	29,1	0,6		AR01	26,9	28	1,1	27,5	0,3		AR01	25,9	29,2	3,2	26,8	0,9
AR02	27,7	28,9	1,2	28,1	0,3		AR02	27,3	27,8	0,6	27,6	0,1		AR02	26,8	28,8	2	27,8	0,5
AR03	28,4	29,6	1,2	29	0,4		AR03	27,2	29,9	2,7	28,2	0,7		AR03	26	30,3	4,3	27,8	1,4
AR04	29,2	30,2	1	29,6	0,3		AR04	26,9	27,8	0,9	27,2	0,3		AR04	26,3	28,1	1,8	27,3	0,5
AR05	28	28,7	0,7	28,2	0,2		AR05	27,5	27,9	0,4	27,7	0,1		AR05	27,4	28,4	1	27,8	0,3
AR06	27,7	29,4	1,7	28,4	0,5		AR06	29,2	31,6	2,5	30,7	0,6		AR06	27,2	31,4	4,2	29,6	1,3

AR07	29,1	29,8	0,8	29,5	0,2		AR07	26,9	29,9	3	28	0,9		AR07	26,8	28,3	1,5	27,6	0,5
AR08	28,6	29,7	1,1	29,1	0,3		AR08	26,9	28,4	1,4	27,8	0,5		AR08	27,4	28,3	0,9	27,8	0,3
AR09	28,2	29,1	0,9	28,7	0,2		AR09	27,5	28,2	0,8	27,8	0,2		AR09	27,5	28,1	0,7	27,9	0,2
AR10	27,4	28,7	1,3	28	0,4		AR10	29,4	31,1	1,7	30,4	0,5		AR10	29,4	31,6	2,2	30,8	0,6
AR11	28,1	30	1,9	29,1	0,6		AR11	29,2	30,9	1,7	30	0,5		AR11	27,8	30,7	2,9	29,1	0,8
AR12	29,8	30,2	0,4	30	0,1		AR12	27,1	28,9	1,7	27,9	0,5		AR12	28,3	29,3	1	28,7	0,3
AR13	29,1	30,1	1	29,6	0,2		AR13	28	28,8	0,9	28,4	0,2		AR13	27,9	28,6	0,7	28,1	0,2
AR14	28,6	29,4	0,7	29	0,2		AR14	27,6	28,1	0,5	27,9	0,1		AR14	27,9	28,3	0,4	28,1	0,1
AR15	26,8	28	1,1	27,4	0,3		AR15	28,9	29,7	0,8	29,3	0,2		AR15	28,2	30,9	2,6	29,7	0,7
AR16	27,2	29,1	1,9	28,4	0,6		AR16	28,8	30,5	1,7	29,7	0,4		AR16	30,2	31,5	1,3	31	0,3
AR17	29	30,5	1,5	29,9	0,4		AR17	28,6	29,7	1,1	29,2	0,3		AR17	29,1	30,4	1,3	29,6	0,3
AR18	29,9	30,4	0,5	30,2	0,1		AR18	28	29,5	1,4	28,8	0,4		AR18	28,5	29,7	1,2	29,2	0,3
AR19	29,2	30	0,7	29,7	0,2		AR19	28	29,2	1,2	28,6	0,3		AR19	28	28,8	0,8	28,4	0,2
AR20	27,8	29,2	1,4	28,5	0,4		AR20	27,8	28,3	0,6	28	0,2		AR20	27,2	28,1	0,9	27,6	0,2
AR21	27,1	27,9	0,8	27,5	0,2		AR21	28,4	29,3	0,9	28,9	0,2		AR21	27,9	29,5	1,6	28,6	0,5
AR22	26,6	28,3	1,7	27,1	0,4		AR22	28,2	29,5	1,3	28,8	0,3		AR22	28,4	29,9	1,5	29,1	0,4
AR23	27,7	30,1	2,4	28,7	0,6		AR23	27,9	29,6	1,7	28,8	0,5		AR23	28,4	30,2	1,7	29,1	0,5
AR24	29,1	30,4	1,3	29,7	0,4		AR24	28,7	30	1,3	29,3	0,3		AR24	28,3	29,7	1,4	29	0,4
AR25	29,2	30,3	1,1	29,7	0,3		AR25	29	30,3	1,3	29,6	0,4		AR25	28,5	29,6	1,1	29	0,3
AR26	28,7	29,6	0,8	29,1	0,2		AR26	28,1	29,1	1	28,6	0,3		AR26	27,8	28,7	0,9	28,3	0,2
AR27	28,3	28,9	0,5	28,7	0,1		AR27	27,5	28,1	0,6	27,8	0,2		AR27	27,3	28,2	0,9	27,9	0,2
AR28	27	28,2	1,2	27,6	0,3		AR28	28	28,7	0,7	28,3	0,2		AR28	27,5	28,9	1,3	28,1	0,3
AR29	27,2	28,4	1,2	27,8	0,3		AR29	27,2	28,1	0,9	27,6	0,3		AR29	28,1	28,8	0,7	28,4	0,2
AR30	28,4	29,4	1	28,8	0,3		AR30	27,4	29,2	1,8	28,2	0,6		AR30	28,7	29,9	1,2	29,2	0,3
AR31	28,9	29,4	0,5	29,2	0,1		AR31	28,6	29,3	0,7	29	0,2		AR31	29	29,9	0,9	29,4	0,2
AR32	29	29,3	0,4	29,1	0,1		AR32	28,8	29,4	0,6	29	0,1		AR32	27,8	29	1,2	28,4	0,4
AR33	28,8	29,2	0,4	29	0,1		AR33	27,9	28,9	1	28,3	0,3		AR33	27,3	28	0,7	27,7	0,1

AR34	27,9	28,4	0,6	28,2	0,1		AR34	27,5	28	0,5	27,7	0,1		AR34	27,7	28,1	0,4	27,9	0,1
AR35	28,2	28,9	0,7	28,6	0,2		AR35	27,1	27,8	0,6	27,4	0,1		AR35	27,9	29	1,1	28,4	0,3
AR36	28,7	29,1	0,4	29	0,1		AR36	27	28,7	1,7	27,7	0,5		AR36	28,5	29,3	0,7	28,8	0,2
AR37	28,7	29,2	0,5	28,9	0,1		AR37	27,7	28,8	1,1	28,2	0,3		AR37	28,1	28,9	0,9	28,5	0,2
AR38	28,8	29,1	0,4	29	0,1		AR38	27,9	28,8	0,9	28,3	0,2		AR38	27,2	28,1	0,9	27,6	0,2

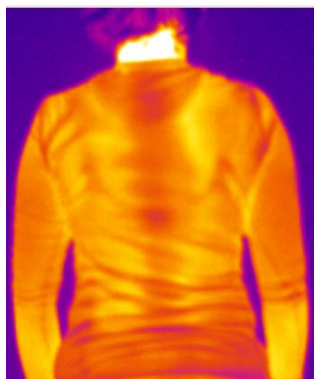
Tab. 11 První část tabulky – přehled teplot jednotlivých map v oblasti levého podpaží

Snímek po 45 minutách							Snímek po 60 minutách					
Label	Min	Max	Max - Min	Avg	Stdev		Label	Min	Max	Max - Min	Avg	Stdev
Image	21,3	36,5	15,2				Image	18,8	35,5	16,7		
AR01	26,6	30	3,4	28,1	1		AR01	25,2	26,8	1,6	26	0,5
AR02	26	27,1	1	26,5	0,3		AR02	24,6	28	3,4	26,2	1,1
AR03	28,3	31,7	3,3	30,2	0,8		AR03	25	27	2	26	0,7
AR04	26,5	29,2	2,7	27,6	0,7		AR04	23,9	25,3	1,4	24,8	0,4
AR05	26,8	29,7	2,9	27,8	0,8		AR05	23,3	26,1	2,8	24,3	0,7
AR06	30,9	32,8	1,9	31,9	0,5		AR06	25,3	26,3	1	25,8	0,2
AR07	28,2	31,3	3,1	29,9	0,8		AR07	24,4	25,7	1,3	25,2	0,3
AR08	27,6	29,1	1,5	28,3	0,4		AR08	23,4	24,4	1	24	0,2
AR09	27,9	29	1,1	28,5	0,3		AR09	23,8	26,2	2,4	25	0,8
AR10	30,2	32,7	2,5	31,6	0,8		AR10	26,5	29,9	3,4	28,1	0,9
AR11	31,1	32,5	1,4	31,8	0,5		AR11	25,6	27,6	2	26,5	0,6
AR12	29,3	31,2	2	30,2	0,6		AR12	24,1	25,9	1,8	25,2	0,5
AR13	28,7	30,2	1,4	29,5	0,4		AR13	23,8	25	1,2	24,4	0,3
AR14	28,7	29,7	1	29,2	0,2		AR14	24,6	28,1	3,4	26,4	1,1
AR15	27,4	30,8	3,4	29,3	1		AR15	28,8	32,2	3,4	30,9	0,8
AR16	31,2	33,1	1,9	32,2	0,5		AR16	28	31,2	3,3	29,2	0,9

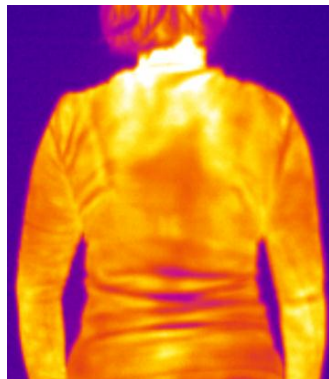
AR17	31,5	33,3	1,8	32,4	0,6		AR17	26,1	28,9	2,7	27,3	0,8
AR18	30,3	32,6	2,2	31,2	0,6		AR18	24,6	26,7	2	25,4	0,6
AR19	29,7	30,7	1	30,1	0,3		AR19	24,6	26	1,5	25,3	0,4
AR20	29,4	29,8	0,4	29,7	0,1		AR20	25,8	27,5	1,7	26,8	0,5
AR21	28,4	30,8	2,4	29,7	0,6		AR21	27,8	31,3	3,5	29,4	1,1
AR22	30,3	31,9	1,6	31,1	0,4		AR22	29,5	31,9	2,3	31,1	0,5
AR23	30,8	33,2	2,4	31,9	0,6		AR23	28,4	30,3	1,9	29,2	0,5
AR24	30,7	33,2	2,5	31,9	0,8		AR24	26,1	28,3	2,2	27,3	0,6
AR25	29,5	31,7	2,2	30,6	0,6		AR25	25,9	27,1	1,3	26,5	0,4
AR26	29,1	30,1	1,1	29,4	0,3		AR26	25,6	26,7	1,1	26,2	0,3
AR27	28,8	29,9	1,1	29,5	0,3		AR27	26,5	27,5	1	27,2	0,3
AR28	28,7	30,5	1,7	29,6	0,5		AR28	28,7	31,3	2,6	30	0,7
AR29	29,5	31,3	1,8	30,5	0,5		AR29	28,5	31,1	2,6	29,6	0,7
AR30	29,8	30,7	0,9	30,2	0,3		AR30	28,2	30,1	1,9	29,3	0,5
AR31	29,8	30,9	1,1	30,2	0,3		AR31	27,1	29	1,9	27,9	0,5
AR32	29,5	30,6	1,1	30	0,3		AR32	26,8	28,3	1,4	27,6	0,4
AR33	29,6	30,4	0,8	30,1	0,2		AR33	26,8	27,5	0,7	27,3	0,2
AR34	27,9	29,1	1,2	28,5	0,4		AR34	29,7	31,1	1,4	30,6	0,3
AR35	28,4	29,8	1,4	29,2	0,4		AR35	29,4	30,8	1,4	30,3	0,4
AR36	29,5	30	0,5	29,8	0,1		AR36	28,5	30,2	1,8	29,2	0,5
AR37	29,8	30,3	0,5	30	0,2		AR37	27,3	28,5	1,2	28,2	0,3
AR38	29,6	30,4	0,7	30	0,2		AR38	26,2	28,1	2	27,1	0,6

Tab. 12 Druhá část tabulky – přehled teplot jednotlivých map v oblasti levého podpaží

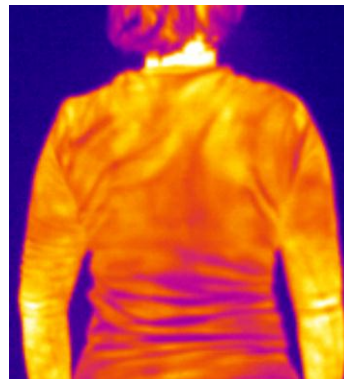
Vyhodnocení teplotních polí termoprádla – oblast zadního dílu



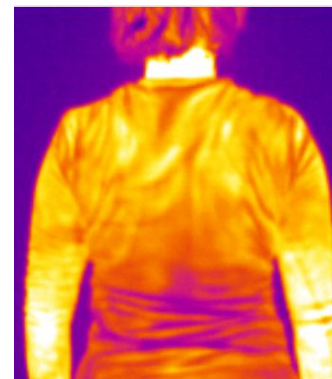
Obr. 30 První snímek, před měřením



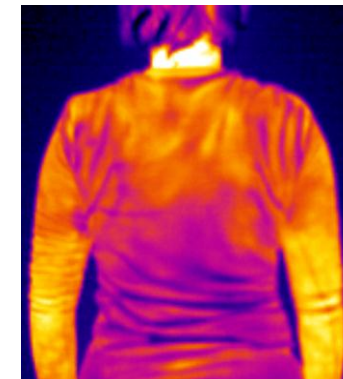
Obr. 31 Druhý snímek, po 15 minutách



Obr. 32 Třetí snímek, po 30 minutách



Obr. 33 Čtvrtý snímek, po 45 minutách



Obr. 34 Pátý snímek, po 60 minutách

Snímek před prvním měřením							Snímek po 15 minutách							Snímek po 30 minutách					
Label	Min	Max	Max - Min	Avg	Stdev		Label	Min	Max	Max - Min	Avg	Stdev		Label	Min	Max	Max - Min	Avg	Stdev
Image	20,5	34,4	13,9				Image	21,2	35,4	14,2				Image	20	35,2	15,2		
AR01	23,2	29,9	6,7	28,2	0,9		AR01	26,9	31,1	4,2	29,2	0,8		AR01	23,2	30,8	7,6	28	1
AR02	24,6	33	8,4	27,5	1,2		AR02	26,5	34,3	7,8	30,7	1		AR02	22,8	31,3	8,5	28,7	0,8
AR03	23,8	30,6	6,8	28,2	1,3		AR03	23,4	32,9	9,5	30,2	1,3		AR03	24,7	31	6,3	28,8	1
AR04	23,3	30	6,7	27,6	1		AR04	24,2	30,6	6,4	28,8	0,8		AR04	26,3	29,2	2,9	27,7	0,6
AR05	27,3	29,6	2,3	28,6	0,4		AR05	27,3	30,4	3,1	28,9	0,6		AR05	25,8	28,8	3	27,5	0,5
AR06	26,5	29,3	2,9	27,9	0,8		AR06	27,1	29,9	2,9	28	0,6		AR06	26,1	29,3	3,2	27,3	0,7
AR07	26,4	30,2	3,8	27,8	0,8		AR07	26,6	30,7	4,1	27,9	1		AR07	25,6	29,5	3,9	26,9	0,8
AR08	25,6	30,1	4,5	28,2	0,8		AR08	26,3	30,7	4,4	29,2	0,7		AR08	25,8	29,7	3,9	27,6	0,8

AR09	24,6	29,3	4,6	28,5	0,6		AR09	24,1	29,8	5,7	28,3	0,6		AR09	25,1	28	3	27	0,5
AR10	25,7	29,5	3,8	28,1	0,9		AR10	25,6	29,3	3,7	28	0,8		AR10	24	27,9	3,9	26,4	0,8
AR11	25,6	29,6	4	27,9	0,9		AR11	25,6	29,6	3,9	27,8	0,7		AR11	24,2	27,8	3,6	25,9	0,7
AR12	25,8	29,9	4	28,3	0,6		AR12	25,5	30,4	4,9	28,7	0,6		AR12	24,6	28,5	3,9	26,7	0,8
AR13	24,5	29,6	5,1	27,7	0,9		AR13	24	29,3	5,3	27,4	0,8		AR13	24	27,2	3,2	25,8	0,7
AR14	26,3	29,9	3,6	28,3	0,9		AR14	23,8	29,8	6	27,2	1,4		AR14	23,2	27,8	4,6	25,7	1,2
AR15	25,9	30,1	4,2	27,8	1		AR15	23,7	29,6	5,9	26,5	1,4		AR15	23,2	27,4	4,3	25	1
AR16	24,8	29,4	4,6	27,5	0,9		AR16	25,2	28,6	3,4	26,8	0,7		AR16	23,8	27,5	3,8	25,4	0,7

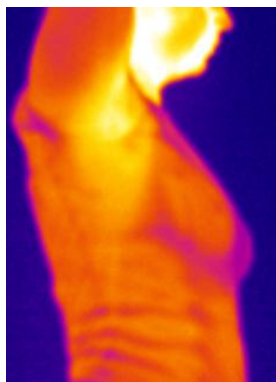
Tab. 13 První část tabulky – přehled teplot jednotlivých map v oblasti zadního dílu

Snímek po 45 minutách							Snímek po 60 minutách					
Label	Min	Max	Max - Min	Avg	Stdev		Label	Min	Max	Max - Min	Avg	Stdev
Image	21,3	35,1	13,8				Image	18,9	34,3	15,3		
AR01	27,1	30,3	3,2	29	0,7		AR01	21,9	29,5	7,5	26,5	1,3
AR02	24,7	31,6	6,9	29,2	1,2		AR02	23	32,6	9,7	27,6	1,2
AR03	26,4	31,7	5,2	29,5	0,9		AR03	21,1	32,5	11,4	27,2	1,5
AR04	24,1	31,3	7,2	29,2	1,1		AR04	21,7	27,6	5,9	26	0,9
AR05	27,3	30	2,7	28,8	0,5		AR05	23,9	26,9	3	25,5	0,6
AR06	27,3	31,1	3,8	28,9	0,8		AR06	24,6	28	3,4	26,3	0,8
AR07	27,1	30,8	3,7	28,7	0,8		AR07	24,4	28,3	3,9	26	0,9
AR08	26,7	31,1	4,4	28,9	0,9		AR08	24,2	28,3	4,1	26,1	0,9
AR09	25,2	29	3,9	27,4	0,8		AR09	22,7	26,2	3,5	24,8	0,7
AR10	25	29	4	27	0,8		AR10	22,7	25,6	2,9	24,3	0,7
AR11	24,6	28,6	4	26,6	0,9		AR11	21,6	26,4	4,8	24,1	0,9
AR12	25,2	29,6	4,5	27,3	1		AR12	22,2	27	4,8	25,2	0,9
AR13	23,7	27,2	3,4	25,6	0,7		AR13	21,5	25,7	4,2	23,8	0,8

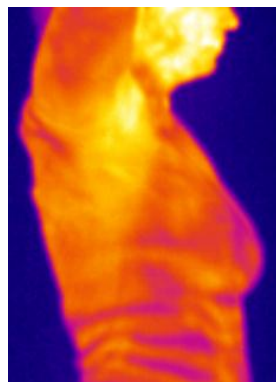
AR14	23,1	27,3	4,2	25,2	1		AR14	21,3	25,9	4,6	23,6	1,1
AR15	23	27,1	4,1	24,7	0,8		AR15	21,3	25,3	4	23,2	0,9
AR16	23,5	27,4	4	25,6	0,7		AR16	21,4	25,5	4,1	23,8	0,8

Tab. 14 Druhá část tabulky – přehled teplot jednotlivých map v oblasti zadního dílu

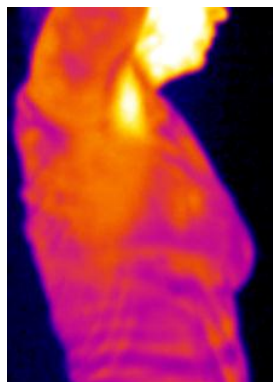
Vyhodnocení teplotních polí termoprádla – oblast pravého podpaží



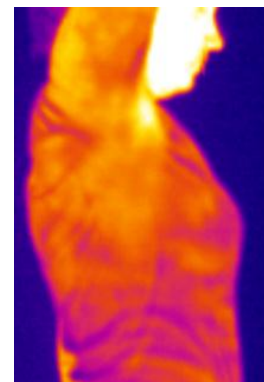
Obr. 35 První snímek, před měřením



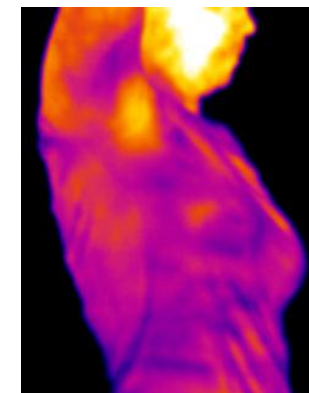
Obr. 36 Druhý snímek, po 15 minutách



Obr. 37 Třetí snímek, po 30 minutách



Obr. 38 Čtvrtý snímek, po 45 minutách



Obr. 39 Pátý snímek, po 60 minutách

Snímek před měřením							Snímek po 15 minutách							Snímek po 30 minutách					
Label	Min	Max	Max - Min	Avg	Stdev		Label	Min	Max	Max - Min	Avg	Stdev		Label	Min	Max	Max - Min	Avg	Stdev
Image	20,7	35,2	14,5				Image	21,2	34,2	13				Image	20	36	16		
AR01	30	32,2	2,2	31,3	0,5		AR01	29,2	29,8	0,6	29,5	0,2		AR01	27,3	30,5	3,2	29	0,7
AR02	28,7	30,7	2	29,7	0,5		AR02	27,9	29,5	1,6	28,7	0,4		AR02	26,9	28	1,1	27,5	0,4
AR03	30,3	33,1	2,8	32,3	0,9		AR03	29,3	30,9	1,7	29,8	0,4		AR03	28,2	32,7	4,5	30,4	1,5
AR04	30,4	32,5	2,1	31,4	0,5		AR04	29,2	29,6	0,3	29,4	0,1		AR04	27	32,5	5,5	29,7	1,6

AR05	28,5	30,6	2	29,5	0,6		AR05	27,9	29,3	1,4	28,6	0,4		AR05	27,2	28,4	1,2	27,8	0,3
AR06	30	32	1,9	31,1	0,5		AR06	29,7	33	3,3	31,6	0,7		AR06	28,4	32,7	4,4	29,9	1,4
AR07	32,1	32,7	0,6	32,5	0,2		AR07	29,3	31,9	2,6	30,4	0,7		AR07	32,4	33,8	1,5	33,3	0,4
AR08	30,6	32,2	1,7	31,5	0,5		AR08	28,8	29,9	1,1	29,4	0,3		AR08	27,5	31,2	3,6	28,9	1
AR09	28,9	30,9	2	30	0,5		AR09	27,5	28,9	1,4	28,2	0,4		AR09	28,5	29,3	0,8	28,9	0,2
AR10	28,4	31,6	3,2	30,4	0,8		AR10	30,9	33,1	2,2	32,4	0,7		AR10	27,7	29,6	1,9	28,6	0,4
AR11	31,1	33,1	2	32,3	0,5		AR11	31,9	33	1	32,5	0,2		AR11	31,4	33,8	2,4	32,9	0,8
AR12	32,5	33,1	0,6	32,9	0,1		AR12	30,1	31,7	1,5	30,9	0,4		AR12	30,5	33,6	3,1	32	1
AR13	31,3	32,7	1,4	31,9	0,3		AR13	29,1	30,6	1,5	29,9	0,4		AR13	28,6	29,5	0,9	29	0,2
AR14	29,8	31,2	1,5	30,5	0,4		AR14	28,4	29,4	1	28,9	0,3		AR14	28,6	29,1	0,6	28,8	0,1
AR15	28,4	30,7	2,4	29,9	0,7		AR15	29,1	31,6	2,5	30,3	0,8		AR15	25,9	28,4	2,5	27	0,7
AR16	30,4	32,7	2,4	31,2	0,7		AR16	32,2	33,3	1,1	32,9	0,3		AR16	29,2	32,3	3,2	30,7	1
AR17	32,1	33,1	1	32,7	0,2		AR17	32,1	33	0,9	32,5	0,3		AR17	30,4	32,8	2,4	31,7	0,7
AR18	31,9	33,1	1,2	32,5	0,3		AR18	30,6	32,1	1,4	31,3	0,4		AR18	28,3	30,7	2,4	29,3	0,7
AR19	30,7	32,1	1,5	31,5	0,4		AR19	29,9	30,4	0,5	30,1	0,1		AR19	28,5	29,3	0,8	28,9	0,2
AR20	28	30,8	2,7	29,7	0,7		AR20	29,5	30,1	0,6	29,8	0,2		AR20	27,6	29	1,4	28,5	0,3
AR21	28,2	30,6	2,5	29,6	0,7		AR21	27,4	30,7	3,4	29	1		AR21	26,4	28	1,6	27,4	0,5
AR22	30,5	31,2	0,7	30,9	0,2		AR22	31,3	32,6	1,2	31,9	0,3		AR22	27,6	29,7	2,1	28,6	0,5
AR23	30,5	31,8	1,3	31,2	0,4		AR23	31,7	33,1	1,4	32,3	0,4		AR23	28,9	30,1	1,2	29,4	0,4
AR24	31,5	32,1	0,6	31,8	0,2		AR24	31,2	32,4	1,2	31,8	0,3		AR24	29	30	0,9	29,4	0,2
AR25	31	31,8	0,8	31,3	0,2		AR25	30,3	31,3	1	30,8	0,2		AR25	28,8	29,4	0,6	29,2	0,1
AR26	28,9	30,7	1,7	29,8	0,6		AR26	29,7	30,5	0,8	30,1	0,2		AR26	28,4	29,2	0,8	28,9	0,2
AR27	26,9	28,2	1,3	27,6	0,3		AR27	27,3	30,3	3	29,2	0,8		AR27	26,5	28,1	1,6	27,3	0,5
AR28	29,5	31,2	1,7	30,4	0,5		AR28	30,1	31,4	1,3	30,7	0,3		AR28	26,8	27,8	1,1	27,4	0,3
AR29	31,3	31,8	0,5	31,6	0,1		AR29	31,1	31,8	0,7	31,4	0,2		AR29	27,8	28,9	1,1	28,5	0,3
AR30	31	31,7	0,7	31,3	0,2		AR30	31,3	32,1	0,8	31,7	0,2		AR30	28,8	29,2	0,5	29	0,1
AR31	30,6	31,4	0,7	30,9	0,2		AR31	30,8	32	1,2	31,4	0,3		AR31	28,6	29,3	0,7	29	0,2

AR32	29,5	30,9	1,4	30,3	0,4		AR32	29,8	30,9	1,1	30,5	0,3		AR32	28,4	29	0,6	28,6	0,2
AR33	28,2	29,2	0,9	28,7	0,3		AR33	27,3	29,5	2,2	28,2	0,6		AR33	27,9	28,7	0,8	28,3	0,2
AR34	29,9	31,2	1,4	30,6	0,3		AR34	30,1	31	0,9	30,6	0,2		AR34	26,9	28	1,1	27,4	0,3
AR35	30,7	31,4	0,7	31	0,2		AR35	30,8	31,7	0,9	31,1	0,2		AR35	28,1	29	0,9	28,6	0,2
AR36	30,5	31	0,5	30,8	0,1		AR36	30,6	31,8	1,3	31,3	0,3		AR36	28,6	29	0,4	28,8	0,1
AR37	29,8	30,6	0,8	30,2	0,2		AR37	30,4	30,9	0,4	30,7	0,1		AR37	28,4	29,1	0,6	28,7	0,2
AR38	28,7	29,7	0,9	29,1	0,3		AR38	28,5	30,2	1,7	29,4	0,5		AR38	28,1	28,8	0,7	28,5	0,2

Tab. 15 První část tabulky – přehled teplot jednotlivých map v oblasti pravého podpaží

Snímek po 45 minutách							Snímek po 60 minutách					
Label	Min	Max	Max - Min	Avg	Stdev		Label	Min	Max	Max - Min	Avg	Stdev
Image	21,4	36,6	15,1				Image	19	35,8	16,7		
AR01	27,2	31,5	4,2	28,9	1,5		AR01	24,8	26,3	1,6	25,5	0,4
AR02	27,4	28,4	1	28	0,2		AR02	24,1	25,2	1,2	24,5	0,3
AR03	28,6	32,5	4	30,8	1,2		AR03	26,7	29,6	2,9	28	0,9
AR04	28,6	30,4	1,8	29,5	0,5		AR04	25,5	28,9	3,3	27,2	0,9
AR05	28,6	30	1,4	29,2	0,4		AR05	24,4	25,6	1,2	25	0,3
AR06	32,4	33,8	1,4	33,2	0,4		AR06	26,1	30,7	4,6	28,2	1,3
AR07	30	31,8	1,7	30,6	0,5		AR07	29,5	31,1	1,6	30,3	0,4
AR08	29,8	30,4	0,7	30,2	0,2		AR08	25,7	29,3	3,7	27,5	1,1
AR09	29,5	30,2	0,6	29,9	0,2		AR09	25,5	26,4	0,9	26	0,3
AR10	31,5	33,6	2,1	32,5	0,6		AR10	25,8	28,5	2,7	26,8	0,9
AR11	30	33	3	31,5	0,8		AR11	30,2	31,4	1,2	31	0,3
AR12	29,4	30,5	1,1	29,8	0,3		AR12	28,8	31,2	2,4	30,2	0,7
AR13	29,1	30,2	1,1	29,7	0,3		AR13	26,5	28,3	1,9	27,2	0,5
AR14	27,7	30,1	2,4	29,2	0,7		AR14	26,7	27,4	0,6	27,1	0,2

AR15	28	31,4	3,4	29,8	0,9		AR15	24,5	26,6	2,1	25,7	0,6
AR16	30,1	31,6	1,5	30,8	0,4		AR16	27,7	30,4	2,7	28,9	0,8
AR17	29,3	30,8	1,6	30	0,5		AR17	29,4	31,2	1,8	30,3	0,5
AR18	29,2	30,1	0,9	29,7	0,2		AR18	27	29,3	2,3	28,3	0,7
AR19	27,6	29,3	1,7	28,5	0,5		AR19	26,3	27,2	0,9	26,6	0,2
AR20	26,9	28	1,1	27,5	0,3		AR20	26,3	27	0,7	26,7	0,2
AR21	26,6	28,7	2,1	27,7	0,6		AR21	24,1	26,2	2	25,3	0,5
AR22	28,8	29,5	0,7	29,2	0,2		AR22	26,2	28,4	2,2	27,2	0,6
AR23	29,1	29,9	0,9	29,5	0,2		AR23	26,8	28,8	2	27,8	0,6
AR24	29,4	30	0,5	29,7	0,2		AR24	26,6	28,6	2	27,5	0,5
AR25	29,4	30,2	0,8	29,8	0,2		AR25	26,1	26,9	0,8	26,5	0,2
AR26	28,2	29,8	1,7	29	0,5		AR26	25,9	26,5	0,7	26,2	0,2
AR27	27,8	28,4	0,6	28	0,2		AR27	24,9	26	1	25,4	0,3
AR28	27,6	29,3	1,7	28,5	0,5		AR28	24,7	25,6	0,8	25,1	0,2
AR29	29	29,6	0,5	29,3	0,2		AR29	24,9	26,2	1,3	25,6	0,4
AR30	28,8	29,2	0,4	29	0,1		AR30	25,6	26,5	1	26,1	0,2
AR31	29,1	29,5	0,4	29,3	0,1		AR31	25,9	26,5	0,6	26,2	0,2
AR32	29,3	29,9	0,6	29,6	0,2		AR32	26,3	27,3	1	26,9	0,3
AR33	28,2	29,9	1,7	29,3	0,4		AR33	25,8	27,2	1,4	26,6	0,3
AR34	28,5	29,3	0,8	28,9	0,2		AR34	24,1	24,8	0,7	24,4	0,2
AR35	28,9	29,1	0,2	29	0,1		AR35	24,9	25,8	0,9	25,2	0,2
AR36	29,1	29,7	0,6	29,4	0,2		AR36	25,4	26	0,6	25,7	0,2
AR37	29	29,6	0,6	29,3	0,2		AR37	26,1	26,8	0,7	26,5	0,2
AR38	28,6	30	1,4	29,4	0,4		AR38	26,7	27,2	0,6	26,9	0,1

Tab. 16 Druhá část tabulky – přehled teplot jednotlivých map v oblasti pravého podpaží

PŘÍLOHA Č. 11 ZMĚNA POVRCHOVÉ TEPLOTY KŮŽE ČLOVĚKA

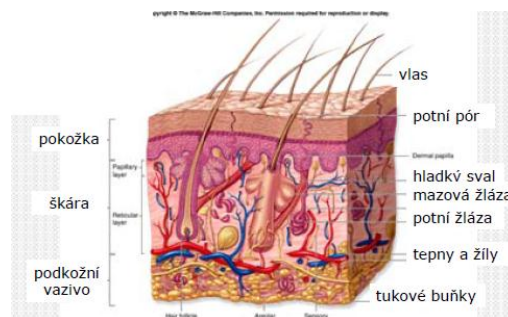
Existence živého lidského organismu je spojena s kontinuálním tokem látek, energie a informace jednak uvnitř samotného organismu a jednak mezi organismem a obklopujícím prostředím. Člověk tak vytváří systém, který je pevně vázaný na prostředí, ve kterém se nachází.

Kůže je orgán, který pokrývá těla obratlovců. Odděluje vnitřní prostředí organismu od vnějšího prostředí. U většiny savců je z větší části pokryta ochlupením. Plocha kůže u dospělého člověka dosahuje 1,6 až 1,8 m². Je největší orgán lidského těla. Její hmotnost představuje přibližně 7 % celkové tělesné hmotnosti. Síla (tloušťka) lidské kůže se mění od 0,4 do 4 mm. Nejtenčí kůže člověka je na očních víčkách, penisu a na vlasové části hlavy. Plní řadu rozmanitých funkcí. Patří mezi ně **ochranná funkce** (kůže brání vniku škodlivých látek, chrání tělo před UV zářením), **smyslová funkce** (v kůži je řada nervových zakončení, které reagují na teplotu, chlad, tlak nebo poranění tkání), **funkce termoregulace** – kůže pomáhá udržovat stálou teplotu těla pomocí kožních cév a potních žláz. V teplém prostředí se cévy rozšiřují, dochází ke zvětšení průtoku krve, urychlí se výdej tepla. Mnoho tělesného tepla se spotřebuje k odpařování potu. Dále kůže plní funkci **skladovací**, kde v podkožním vazivu se skladuje tuk, **vylučovací**, kde kůže vylučuje z těla chemické látky. Přes kůži můžeme do těla vpravit různé léky v podobě mastí.

Stavba kůže

Kůže se skládá ze tří základních částí:

- pokožky, která je nejsvrchnější vrstva. Je tvořena několika vrstvami plochých buněk,
- škáry, která je druhou vrstvou kůže (pojivová vrstva). Škára je pevná a pružná vazivová část kůže.
- Chrání tělo před poškozením,



Obr. 40 Stavba kůže [38]

podkožního vaziva – vazivo je vrstva kůže pod škárrou, která chrání a izoluje svaly a nervy.

Termoregulace

Termoregulací nazýváme schopnost organismu udržovat stálou tělesnou teplotu, přestože produkce tepla, jeho příjem i ztráty nepřetržitě kolísají. Jestli dojde k narušení tepelné rovnováhy, teplo se buď hromadí v organismu člověka, nebo rychle uniká, a tím se mění průměrná tělesná teplota. Podle změn teploty prostředí se vždy vytváří určitý teplotní spád mezi vnitřkem organismu a jeho povrchem. Teplota se rozděluje na teplotu tělesného jádra (teplota vnitřních orgánů a tkání) a teplotu povrchu těla (teplota kůže). Spád teploty směřuje z vnitra k povrchu. Povrchová teplota je snadno ovlivnitelná okolím. Teplota těla závisí na teplotě okolí, vlhkosti, proudění vzduchu a na tepelném záření.

Sdílení tepla mezi organismem a okolím

Zbytková energie se mění na energii tepelnou, která je odváděná z organismu. Výdej tepla je u člověka uskutečňován především povrchem těla, a to radiací (sáláním), kondukcí (vedením), konvekcí (prouděním), evaporací (odpařováním) vody z povrchu kůže a sliznic a respirací (dýchání). Přenos tepla je proces, během něhož dochází k předávání tepla z místa s vyšší teplotou do místa s nižší teplotou. Podmínkou sdílení tepla je teplotní spád. ***Sdílení tepla sáláním*** – vyzařování infračervených vln. Je to přenos tepla, který vzniká při přenosu energie elektromagnetickými vlnami mezi zdrojem a příjemcem. ***Sdílení tepla vedením*** – odevzdání tepla přímým kontaktem s předmětem, dotykem. Transport tepelné energie je vyvolán pohybem elementárních částic, které při zvýšení teploty začínají kmitat. Molekuly s vyšší teplotou odevzdávají při srážkách přebytek své kinetické energie molekulám, které mají nižší teplotu. Přenos tepla vedením probíhá u spodního prádla či oděvu, který má přímý kontakt s povrchem lidského těla. ***Sdílení tepla prouděním*** – styk těla s vodou nebo vzduchem. Vrstvička vzduchu se ohřeje a vymění za chladný. Prouděním je teplo sdíleno mezi proudící tekutinou a povrchem obtékaného tělesa. ***Sdílení tepla odpařováním*** – pocení. Množství tepla, které odchází z povrchu kůže neznatelným pocením a je závislé především na měrném výparném skupenském teple a na rozdílu parciálních tlaků vodních par. ***Sdílení***

tepla dýcháním – odvod tepla je realizován dýchacími cestami a jeho množství je dáno rozdílem vodních par vdechovaných a vydechovaných.

Odvody vlhkosti z povrchu lidského organismu

U oblečeného organismu je vlhkost odváděna několika způsoby. **Kapilární odvod potu** – pot v kapalném stavu je odsáván první textilní vrstvou a jejími kapilárními cestami vzlíná do plochy všemi směry nebo je přenášen do dalších vrstev (jde o knotový efekt). Kapilární odvod je závislý na smáčecí schopnosti textilie a vláken, na povrchovém napětí vláken potu. **Migrační způsob odvodu potu** – ve většině případů se oděv nachází v teplotním spádu mezi teplotou povrchu těla, mezi mikroklima a okolím. Může dojít ke kondenzaci vlhkosti na povrchu vláken. Voda je odvedena do kapilárních prostor nebo migruje na povrchu vláken. **Difúzní odvod vlhkosti** – difúzní prostup vlhkosti z povrchu kůže přes textilií je realizován prostřednictvím pórů, jež se zúčastňují na kapilárním odvodu vlhkosti. **Sorpční odvod vlhkosti** – proces předpokládá vnik vlhkosti nebo potu do neuspořádaných mezi-molekulárních oblastí a následné navázání na hydrofilní skupinu v molekulové struktuře. Textilie musí být alespoň částečně vyrobena ze sorpčních vláken.

Nejrychlejší odvod je kapilární odvod, dále pak migrační a difúzní a nejpomalejší je sorpční odvod. Pro zajištění oděvního komfortu je nejvýhodnější kombinace difúzního a sorpčního způsobu.

Teplota okolí	Chodidlo	Bérec	Stehno	Břicho	Záda	Hrud'	Rameno	Předloktí	Ruka	Čelo	Střední hodnota
15	17,4 ±2,4	22,3 ±1,8	23,2 ±2,2	29,1 ±2,3	30,1 ±2,4	29,9 ±2,2	26,2 ±1,3	27,0 ±2,0	19,7 ±2,7	29,7 ±2,1	25,7 ±1,2
20	21,7 ±0,9	25,8 ±1,0	27,9 ±1,5	30,7 ±1,7	31,3 ±1,1	31,9 ±1,1	28,0 ±0,8	27,7 ±0,7	24,0 ±1,3	32,9 ±0,9	28,2 ±0,8
25	27,1 ±0,8	28,9 ±1,0	30,5 ±1,1	33,5 ±0,4	32,7 ±1,5	32,8 ±0,9	30,8 ±2,0	30,3 ±1,3	25,4 ±2,1	33,9 ±0,4	30,6 ±0,9
30	31,6 ±1,0	32,7 ±0,7	33,4 ±0,6	34,7 ±0,8	34,4 ±0,8	34,5 ±0,8	33,4 ±0,8	33,6 ±0,6	32,9 ±0,9	34,8 ±0,7	33,4 ±0,5
35	35,5 ±0,3	35,3 ±0,2	35,0 ±0,4	35,1 ±0,6	35,4 ±0,4	35,9 ±0,3	36,0 ±0,2	35,7 ±0,3	35,8 ±0,2	35,8 ±0,6	35,7 ±0,2

Tab. 17 Povrchová teplota kůže člověka [°C] [38]

[38, 39, 40]